

Historyczne konstrukcje stalowych zbiorników i silosów na Dolnym Śląsku



dr hab. inż.
EUGENIUSZ HOTAŁA, PROF. PW
Politechnika Wrocławska,
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
ORCID: 0000-0003-2286-8436

Pod koniec XIX wieku na Dolnym Śląsku zbudowano wiele stalowych zbiorników wieżowych dla potrzeb sieci wodociągowych. W artykule zaprezentowano jeden z nich, który nadal jest eksploatowany – od 135 lat – i jest jednym z najstarszych obiektów stalowych o konstrukcji powłokowej w Europie.

Pierwszą znaną i istniejącą dotychczas konstrukcją budowlaną z żeliwa jest most Iron Brigde w Coalbrookdale (Anglia) o rozpiętości 30 m, wybudowany w 1779 r. Niecałe 15 lat później zbudowany został na Dolnym Śląsku jednoprzęsłowy, żelazny most łukowy o rozpiętości 15,1 m nad rzeką Strzegomką w Łażanach, zniszczony w 1945 r. podczas działań wojennych. Pierwsza konstrukcja z żelaza pudlarskiego powstała w 1826 r. i był to most wiszący o rozpiętości głównego przęsła 176 m nad cieśniną Menai na Morzu Irlandzkim w Północnej Anglii. W roku 1851 w centrum Londynu wzniesiono Crystal Palace z okazji wystawy światowej, a konstrukcję nośną tego obiektu zrealizowano z prętowych elementów ze stali (kutego żelaza). W 1936 r. po pożarze został on rozebrany. Kamieniem milowym w realizacji konstrukcji stalowych było wzniesienie w roku 1889 niezwyklej i nowatorskiej konstrukcji o wysokości 300 m, którą była wieża Eiffla w Paryżu, wykonana ze stali pudlarskiej o masie ponad 7 tys. ton. Konstrukcja wieży Eiffla od 130 lat jest przykładem na to, że dobrze zaprojektowane i wykonane konstrukcje stalowe, w których okresowo przeprowadzane są staranne konserwacje powłok antykorozyjnych, mają bardzo dużą trwałość eksploatacyjną. Na Dolnym Śląsku do dzisiaj jest wiele eksploatowanych obiektów, w których stalowe, prętowe konstrukcje nośne są wykonane ze stali z początków XX i końca XIX wieku.

Stalowy zbiornik na wodę w wieży ciśnień z końca XIX wieku

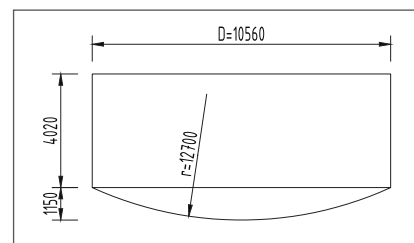
Pod koniec XIX wieku niemieccy inżynierowie podejmują się realizacji pierwszych w Europie powłokowych konstrukcji budowlanych z blach łączonych na nity, wykonanych

ze stali zgrzewnej (Schweißeisen). Były to interesujące konstrukcje wieżowych zbiorników walcowych z dnem płaskim lub kulistym oraz zbiorników Intzego z dnem stożkowym i kulistym. Na szczególną uwagę zasługuje eksploatowany nadal stalowy zbiornik na wodę o pojemności całkowitej 400 m³ (rys. 1), zlokalizowany w wieży ciśnień w Dzierżoniowie (fot. 1.). Wieża została wzniesiona w 1884 r. przez znanego architekta i mistrza budowlanego Gustava Fellbauma, który w Dzierżoniowie (niem. Rechenbach) wznosił wiele znanych obiektów. Autorem projektu wieży wraz ze zbiornikiem na wodę był drezdeński inżynier Bernhard Salbach, wspólnie z mistrzem budowlanym E. Böttgerem.

Podparcie zbiornika stanowi 28 podpór odcinkowych, zlokalizowanych na dolnej krawędzi walcowego płaszcza. Blachy płaszcza i dna łączone są na zakład za pomocą nitów. Zbiornik jest w dobrym stanie technicznym i po wykonanych pracach remontowych, będzie więc mógł być nadal eksploatowany przez wiele lat. W produktach korozji wewnątrz zbiornika (fot. 2.) przed remontem stwierdzono dość znaczną zawartość ołowiu, która może wynikać z uszczelniania styków zakładkowych taśmami ołowianymi oraz instalacji wodociągowej z rur ołowianych, co pod koniec XIX i na początku XX wieku było dość powszechne.

Nie stwierdzono wyraźnej zawartości siarki w produktach korozji, stąd jest mało prawdopodobne, aby proces korozji był wywołany przez bakterie żelazowe. Pod lustrem wody na blachach zbiornika nie występowała więc korozja biologiczna, lecz zwykła korozja atmosferyczna (fot. 2.), związana z eksploatacyjnym obniżaniem się poziomu wody w zbiorniku w ciągu każdego dnia. Uzupełnianie wody odbywało się każdej nocy.

Pomimo wyłączenia z eksploatacji prawie wszystkich zbiorników wieżowych w Polsce opisywany przykład eksploatacji zbiornika wieżowego wskazuje na wiele korzyści z jego zastosowania. Uzyskuje się przede wszystkim niezwykle skuteczną stabilizację ciśnienia w sieci wodociągowej i eliminację szkodliwych dla sieci uderzeń hydraulicznych (gwał-



Rys. 1. Geometria stalowego zbiornika na wodę



Fot. 1. Wieża ciśnień w Dzierżoniowie



Fot. 2. Widok fragmentu wnętrza zbiornika przed remontem

towne skoki ciśnienia), jakie występują przy włączaniu się pomp w stacjach hydroforowych w sieciach, w których nie ma zbiorników wieżowych. Ciągłe pomiary wartości ciśnienia w sieci wodociągowej bez wykorzystywania zbiornika wykonywane były podczas przerwy eksploatacyjnej zbiornika i prac remontowych. Pozwoliły one na wykazanie wyraźnych korzyści dla stabilizacji ciśnienia w sieci podczas korzystania ze zbiornika wieżowego i uzyskanie argumentów potwierdzających potrzebę remontu i dalszej eksploatacji zbiornika.

Analizy nośności zbiornika wykonywane były na podstawie badań składu chemicznego i mikrostruktury stali. Wykorzystano również publikacje [1], [2], [3], [4] dotyczące właściwości stali stosowanych w XIX i XX wieku.

Stalowe silosy na zboże na Dolnym Śląsku z początku XX wieku

Na początku lat 30. XX wieku istniejące w Niemczech młyny otrzymały zadanie znacznego zwiększenia zapasów zboża, stąd rozpoczęto szybką budowę około 50 baterii silosów stalowych o ładownościach 2–6 tys. ton zboża każda. Na Dolnym Śląsku wzniesiono 4 baterie takich silosów i obecnie są one nadal eksploatowane bez zakłóceń. Wskutek działań wojennych na terenie obecnych Niemiec nie zachowały się już te obiekty.

Pojedyncze silosy walcowe z dnem stożkowym (rys. 2.) miały średnicę $D = 3\text{--}5$ m, wysokość $H = 23\text{--}28$ m i oparte były na całym obwodzie w sposób ciągły na cylindrycznej powłoce, stanowiącej przedłużenie powłoki płaszcza każdej z komór silosów. Pomiedzy komorami cylindrycznymi zostały wytworzone komory gwiazdkowe (rys. 3.), któ-

re również były wykorzystywane do magazynowania zboża. Ważnym zaleceniem eksploatacyjnym było stosowanie zasady, że komory gwiazdkowe mogą być wypełniane dopiero wtedy, gdy sąsiednie komory cylindryczne są pełne, a opróżnianie komór gwiazdkowych powinno następować w pierwszej kolejności. Nie była więc dopuszczalna sytuacja, że na fragment pustej komory cylindrycznej oddziałuje zewnętrzne parcie poziome od zboża w komorze gwiazdkowej, gdyż ścisnienie obwodowe walcowego płaszcza mogłoby spowodować utratę jego stateczności. Taka sytuacja miała miejsce w jednym z prezentowanych obiektów, ale udało się przywrócić pełną zdolność eksploatacyjną tym silosom.

Jedną z prezentowanych baterii silosów stalowych o ładowności 2100 ton zboża została wzniesiona w roku 1934 w przeciągu 7 miesięcy w Strzegomiu (fot. 3.). Układ komór tej baterii pokazano na rys. 3. Blachy powłok silosów wykonano najprawdopodobniej z ówczesnej stali St.00.12 i miały one grubość 3–4 mm, a łączono je na zakład za pomocą śrub.

Przeгляд stanu technicznego blach od strony wewnętrznej silosu nie wykazał praktycznie żadnych ubytków korozyjnych, gdyż podczas składowania zboża w silosie na skutek procesów biologicznych w ziarnach pochłanianą jest wilgoć i wydzielany dwutlenek węgla. W takich warunkach nie występuje korozja stali. W prezentowanych silosach występuje przepływ rdzeniowy podczas ich opróżniania, stąd blachy płaszczy i lejów nie są intensywnie ściernane, co potwierdziły pomiary grubości blach. Jeśli zadba się o okresową renowację powłok malarskich po stronie zewnętrznej baterii silosów, to trwałość korozyjna tych obiektów jest bardzo duża i bez problemów może znacznie przekroczyć 100 lat. Projektant tej baterii silosów (fot. 3.) przedstawił wyniki swojej pracy w [5].

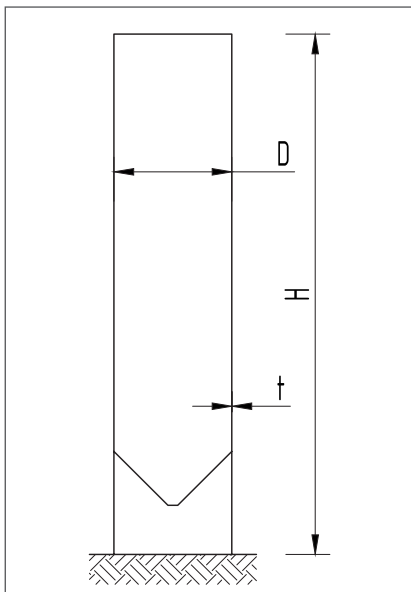
Bardzo dużą baterię stalowych silosów (fot. 4.) wzniesiono w roku 1934 na terenie słynnego młyna Hilberta (Hilbertmühle) w Dzierżonowie. Wybudowany w 1937 r. młyn jest najważniejszym zabytkiem techniki na Śląsku i w Polsce, związanym z przemysłem rolno-spożywczym. Bateria składa się z 24 komór cylindrycznych o średnicy $D = 4,0$ m, wysokości $H = 23$ m o ładowności 200 ton każda oraz z 14 wewnętrznych komór gwiazdkowych o ładowności 80 ton każda.

Nie jest znany autorowi artykułu stan techniczny silosów od strony wewnętrznej komór, ale wyraźnie widać, że niezbędne są prace w zakresie renowacji powłok antykorozyjnych od strony zewnętrznej (fot. 4.), aby ten unikalny zabytek techniki nie stracił swej wartości historycznej i eksploatacyjnej.

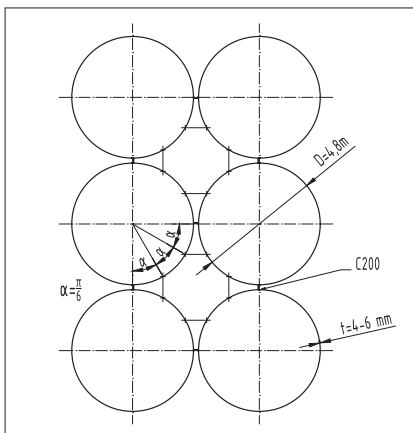
Kolejną baterię stalowych silosów do magazynowania zboża o wysokości 32 m wzniesiono w 1935 r. na terenie zabytkowego Młyna Conrada (Conradmühle) w Świebodzicach (fot. 5.). Młyn uległ zniszczeniu podczas pożaru w 1958 r. ale bateria silosów jest eksploatowana nadal jako magazyn zbożowy. Jest on utrzymywany w dość dobrym stanie technicznym.



Fot. 3. Bateria silosów stalowych w Strzegomiu z 1934 r.



Rys. 2. Geometria walcowych komór stalowych silosów z początku XX wieku



Rys. 3. Układ komór cylindrycznych i gwiazdkowych w baterii silosów w Strzegomiu



Fot. 4. Bateria stalowych silosów z 1934 r. na terenie Młyna Hilberta w Dzierżonowie



Fot. 5. Bateria stalowych silosów z 1935 r. na terenie Młyna Conrada w Świebodzicach

Ostatnim z prezentowanych magazynów zbożowych jest bateria stalowych silosów w Jaworze (fot. 6.), eksploatowana nadal bez większych zakłóceń.

Trwałość zmęczeniowa konstrukcji budowlanych z dawnych stali

Analizując trwałość stalowych konstrukcji budowlanych z końca XIX i początku XX wieku, oceniamy przede wszystkim stopień zużycia korozyjnego i związany z nim wzrost wyętwienia ich elementów. Nie jest to jednak jedyny czynnik decydujący o trwałości eksploatacyjnej. Podczas długich lat eksploatacji konstrukcje były poddane obciążeniom zmiennym, których liczba cykli może być na tyle duża, że stwarza zagrożenie wyczerpania nośności zmęczeniowej. Stale w tych konstrukcjach mają dość dużo zanieczyszczeń, a karby konstrukcyjne w postaci połączeń nitowanych sprawiają, że wytrzymałość zmęczeniowa norma-

tywna dla NC = 2 mln cykli wynosi $\Delta\sigma_C = 50-80$ MPa.

W przypadku analizowanych silosów ich napełnianie i opróżnianie występuje nie częściej niż kilka razy w roku, stąd dotychczasowa liczba cykli obciążeń nie przekracza liczby 1000. Przy tej liczbie cykli nie ma potrzeby analizowania zmęczenia wysokocyklowego.

W analizowanym zbiorniku prawie całkowite opróżnianie i ponowne napełnianie go wodą odbywało się każdej doby, a więc przez 135 lat wystąpiło prawie 50 tys. cykli obciążeń. W tym przypadku sprawdzenie nośności zmęczeniowej blach zbiornika było konieczne, ale wynik tej analizy nie wykazał zagrożenia dla bezpiecznej eksploatacji zbiornika.

Zjawiska zmęczeniowe w konstrukcjach z dawnych stali są szczególnie istotne w starych konstrukcjach mostów, w tym mostów kolejowych. Obszerne wyniki badań jakości stali i efektów zmęczeniowych w konstrukcjach z dawnych stali zawarte są w pracy [4].

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA
 Hotała Eugeniusz, 2020. Historyczne konstrukcje stalowych zbiorników i silosów na Dolnym Śląsku. „Builder” 04 (273). DOI: 10.5604/01.3001.0013.8800

Streszczenie: Na Dolnym Śląsku zbudowano pod koniec XIX wieku wiele stalowych zbiorników wieżowych dla potrzeb sieci wodociągowej. W artykule zaprezentowano jeden z nich, który jest nadal eksploatowany – od 135 lat – i jest jednym z najstarszych obiektów stalowych o konstrukcji powłokowej w Europie. Kolejne stalowe konstrukcje powłokowe, powstałe na Dolnym Śląsku na początku lat 30. XX wieku, to 4 duże baterie silosów do magazynowania zboża, które są pierwszymi stalowymi silosami na świecie eksploatowanymi do tej pory bez zakłóceń. Opisano nowatorskie konstrukcje tych silosów oraz oceniono ich trwałość eksploatacyjną. Oprócz niezwyklej wartości historycznej prezentowane konstrukcje zbiorników i silosów mają swoją wartość jako poligon doświadczalny do analiz odporności korozyjnej i trwałości eksploatacyjnej stalowych konstrukcji budowlanych. Losy tych konstrukcji zależą przede wszystkim od jakości projektu i wykonawstwa oraz warunków eksploatacji, co wykazano na przykładzie zaprezentowanych zbiorników i silosów.

Słowa kluczowe: konstrukcje stalowe, zbiorniki wieżowe, silosy wielokomorowe, trwałość konstrukcji stalowych

Abstract: Historical structures of steel tanks and silos in Lower Silesia. In Lower Silesia, many steel tower reservoirs were built at the end of the 19th century for water supply networks. The article presents one of them, which is still in operation for 135 years and is one of the oldest steel buildings having a steel shell structure in Europe. Another steel shell structures, created in Lower Silesia at the early thirties of the 20th century, are 4 large grain storage silo batteries, which are the first steel silos in the world and have been operated without disturbances so far. Innovative constructions of these silos were described and their service life evaluated. In addition to their extraordinary historical value, the presented tank and silo constructions have their value as an experimental base for the analysis of corrosion resistance and service life of steel building structures. The fate of these structures depends primarily on the quality of design and workmanship and operating conditions, as shown by the example of the tanks and silos presented.

Keywords: steel structures, tower tanks, multi-chamber silos, durability of steel structures



Fot. 6. Bateria stalowych silosów z 1935 r. w Jaworze

Podsumowanie

Wszystkie zaprezentowane stalowe konstrukcje silosów oraz zbiornik na wodę w wieży ciśnieniowej to unikalne i imponujące dzieła sztuki inżynierskiej, które powinny być objęte specjalną troską właścicieli oraz instytucji dbających o zachowanie w dobrym stanie zabytków techniki i budownictwa. Jest to szczególne zadanie, które powinno być priorytetem dla lokalnych i wojewódzkich władz samorządowych, gdyż tak niezwykle i piękne zabytki budowlanej sztuki inżynierskiej są również szczególną atrakcją turystyczną Dolnego Śląska. Prezentowane konstrukcje silosów to przecież pierwsze na świecie tego rodzaju budowle inżynierskie wykonane ze stali. Do dzisiaj stosowany jest analogiczny typ rozmieszczenia i podparcia komór silosów w dużych bateriach stalowych silosów.

Trzeba wziąć pod uwagę, że te powłokowe konstrukcje projektowane były jedynie na podstawie ogólnie znanych metod statyki i wytrzymałości budowli oraz znanej już wtedy teorii Jansena w zakresie obciążenia silo-

sów od materiałów sypkich. Nie było jeszcze norm projektowych ani wykonawczych.

Staranne wykonanie prac montażowych pod nadzorem projektanta oraz okresowe konserwacje powłok antykorozyjnych były podstawowymi czynnikami, dzięki którym konstrukcje te mają nadal dobre zdolności eksploatacyjne, a ich trwałość eksploatacyjna może być jeszcze bardzo długa. W niektórych przypadkach o możliwości dalszej eksploatacji może również decydować nośność zmęczeniowa.

Literatura

- [1] Bodarski Z., Czaplinski K., Informacje techniczne 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 Ośrodek we Wrocławiu, Wrocław 1986.
- [2] Ziółko J., Utrzymanie i modernizacja konstrukcji stalowych, Arkady, 1986.
- [3] Gierczak J., 2016, Przebudowy konstrukcji stalowych, część 2. Analiza stali, „Builder” 2016, R. 20, nr 7, s. 88–91.
- [4] Helmerich R., Alte Stahle und Stahkonstruktionen, Forschungsbericht 271, Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), Berlin 2015.
- [5] Stünkel A., 1935, Stahl-Getreidesilos, „Stahlbau”, 8(1935), s. 103–14.