

# Uszkodzenia i wzmocnienia stalowej hali przemysłowej z początku XX w.



dr inż.  
**MICHAŁ REDECKI**  
Politechnika Wrocławska  
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego  
ORCID: 0000-0003-1469-0164



dr inż.  
**PAWEŁ LORKOWSKI**  
Politechnika Wrocławska  
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego  
ORCID: 0000-0002-4457-0422

W artykule przedstawiono studium przypadku stalowej hali przemysłowej, która powstała na początku XX w. Mimo licznych uszkodzeń i swojej 100-letniej historii jest ona ciągle użytkowana. Przypadek ten pokazuje, że tego typu obiekty powinny być przedmiotem szczególnej kontroli pod względem ich stanu technicznego.

Stalowe budynki halowe są powszechnie stosowane w przemyśle jako obiekty, których głównym zadaniem jest ochrona maszyn i procesu technologicznego przed wpływem zewnętrznych warunków atmosferycznych. Historia rozwoju współczesnych stali konstrukcyjnych rozpoczęła się w drugiej połowie XIX w. Pojawiły się wówczas innowacyjne metody wytopu stali, które znacznie obniżyły koszty wytwarzania i przyczyniły do jej upowszechnienia [1]. Zyskały na tym nie tylko obszary bogate w złoża kopalne, np. Zagłębie Ruhry czy Górną Śląsk, ale też duże ośrodki, jak leżący na początku XX w. w granicach Cesarstwa Niemieckiego, a potem Republiki Weimarskiej – Wrocław.

Głównym motorem postępu aż do końca XIX w. był rozwój kolejnictwa [2], dlatego już w 1832 r. powstały hale produkcyjne zakładu, który zajmował się budową taboru kolejowego. Fabryka kilkakrotnie zmieniała właścicieli, a budynki fabryczne były prawdopodobnie wielokrotnie przebudowywane i rozbudowywane, dlatego obecnie nie można ustalić dokładnego okresu powstania przedstawionej hali przemysłowej. Na podstawie archiwalnych zdjęć wiadomo, że była ona budowana na co najmniej dwóch etapach. Roz-

budowę hali potwierdziła także inwentaryzacja elementów konstrukcyjnych, ponieważ mimo zachowania ogólnej geometrii hali w części nowszej zastosowano inne profile prętów konstrukcyjnych niż w starszej.

## Charakterystyka hali Elementy konstrukcyjne

Konstrukcyjnie hala jest budynkiem trzynawowym o rozpiętościach naw zewnętrznych 25 m, a nawy środkowej – 35 m (por. rys. 1.). Obiekt zrealizowano w mieszanej technologii szkieletowej, tzn. w osiach ścian zewnętrznych wykonano murowane pilastry stanowiące podparcie wiązarów dachowych naw bocznych. Natomiast podpory wewnętrzne nawy środkowej i bocznych wykonano jako stalowe skratowane słupy dwugąłzowe. Konstrukcją nośną przekrycia są dźwigary kratowe: trapezowy o zbieżnych pasach w nawach bocznych oraz trójkątny o dwukrotnie załamanych i również zbieżnych pasach nad nawą środkową.

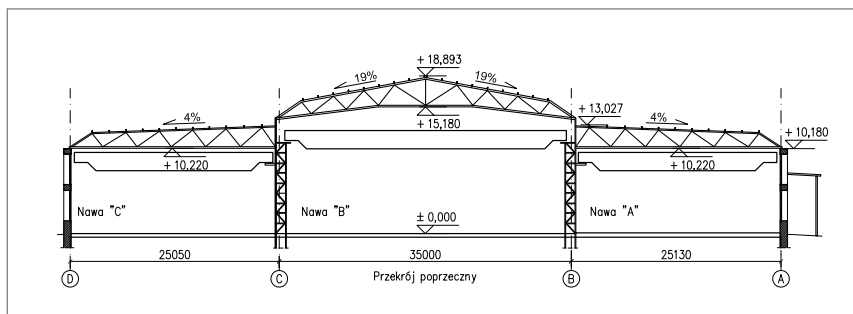
Osiowy rozstaw pomiędzy dźwigarami wynosi 8 m, natomiast rozstaw pomiędzy wewnętrznymi słupami (w osiach B i C) wynosi 16 m. Co drugi wiązar opiera się na trójkąt-

nych kratownicach podwiazarowych. Fragment widoku podłużnego hali w osi B przedstawiono na rysunku 2a. Kratownice podwiazarowe są zatem niezwykle istotnymi elementami konstrukcyjnymi, ponieważ przenoszą obciążenia z połowy głównych dźwigarów dachowych.

Hala pokryta jest warstwami papy, cementową gładzią wyrównawczą i zróżnicowanymi typami płyt prefabrykowanych, które opierają się na płatwiach pełnościennych. Długość hali wynosi 150 m. W każdej z naw użytkowane są po dwie natorowe suwnice pomostowe poruszające się na podtorzu mocowanym do stalowych belek podsuwnicowych. Wszystkie wskazane wyżej główne elementy konstrukcyjne hali zostały wykonane jako nitowane.

## Belki podsuwnicowe

W trakcie swojej stułetniej historii konstrukcja hali była kilkakrotnie przerabiana i modyfikowana. Większość zmian podyktowana była zmieniającą się technologią produkcji taboru kolejowego. Wymuszało to stosowanie suwnic o coraz większych udźwigach. W oparciu o nitowane połączenia belek podsuwnicowych z pozostałymi elementami konstrukcji można wywnioskować, że są one użytkowane od czasu wybudowania hali. Istotne zmiany w konstrukcji belek podsuwnicowych w nawie B wykonano prawdopodobnie w latach 90. XX w. O ile koncepcja rozbudowy samych belek w osiach B i C była jak najbardziej słuszna, to sposób jej wykonania jest już wątpliwy. Siedemdziesięcioletnie wówczas belki wzmocniono, spawając do pasa dolnego kratowy ściąg (por. rys. 2a.). Belki uzupełniono ponadto o poziomy tężnik, który podparto zastrzałami oraz żebrami przyspawanymi do historycznej belki (por. rys. 2b.). Usunięto przy tym poziomy tężnik podłużny hali umiejscowiony w pozio-



Rysunek 1. Przekrój poprzeczny przedmiotowej hali przemysłowej

mie pasa dolnego belki podsuwnicowej, ponieważ kolidował ze wzmocnieniem. Usunięty element odpowiadał za przenoszenie poziomych obciążeń bocznych wynikających z oddziaływania suwnic. Widok oryginalnego tężnika, który zachował się nad nieużytkowaną częścią hali, przedstawiono na rysunku 3a., natomiast rysunek 3b. przedstawia pozostawiony fragment odciętego wówczas elementu.

### Parametry materiałowe

W przypadku wielu stalowych obiektów historycznych określenie charakterystyk wytrzymałościowych jest bardzo kłopotliwe lub wręcz niemożliwe. Zazwyczaj konstrukcja znajduje się pod obciążeniem i nie ma możliwości bezpośredniego pobrania próbek do badań statycznej próby rozciągania. Wówczas granicę plastyczności  $f_y$  i wytrzymałość na rozciąganie  $f_u$  można oszacować metodami pośrednimi, np. nieniszczącym badaniem twardości metodą Brinella [3–5]. Na podstawie tych badań oszacowano charakterystyczną granicę plastyczności  $f_y=180$  MPa oraz wytrzymałość na rozciąganie  $f_u=250$  MPa.

Zbadano również skład chemiczny z wybranych próbek pobranych z obiektu. Badanie przeprowadzono za pomocą metody spektrometrii emisyjnej na urządzeniu BAIRD – DV4. Wyniki tych badań zamieszczono w tabelicy 1.

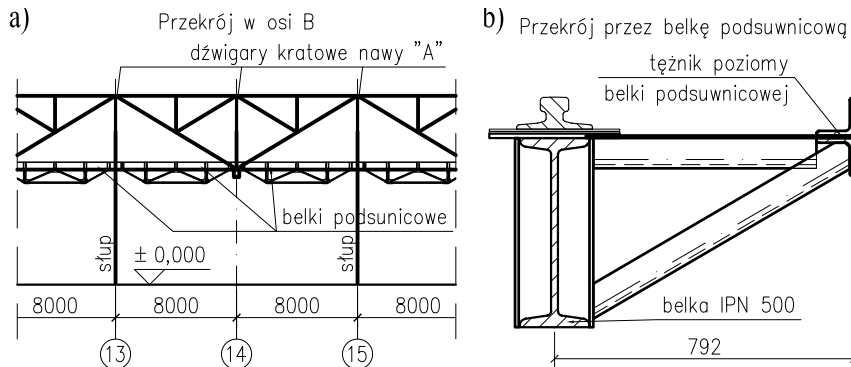
Generalnie skład chemiczny badanych stali odpowiada stalom niestopowym, niskowęglowym. Mają one jednak zbyt dużo siarki (S) i fosforu (P). Porównując szczegółowe wyniki przedstawione w tabelicy 1., zauważa się, że w stalach pochodzących z kątowników jest mało węgla (C) i krzemu (Si), ale stosunkowo dużo manganu (Mn). Z uwagi na zbyt dużą niejednorodność produkowanej wówczas stali i brak możliwości dokładniejszej oceny spawalności przyjęto, że elementy konstrukcyjne hali nie są spawalne (mimo że niektóre wzmocnienia wykonywano jako spawane).

### Uszkodzenia i sposoby napraw

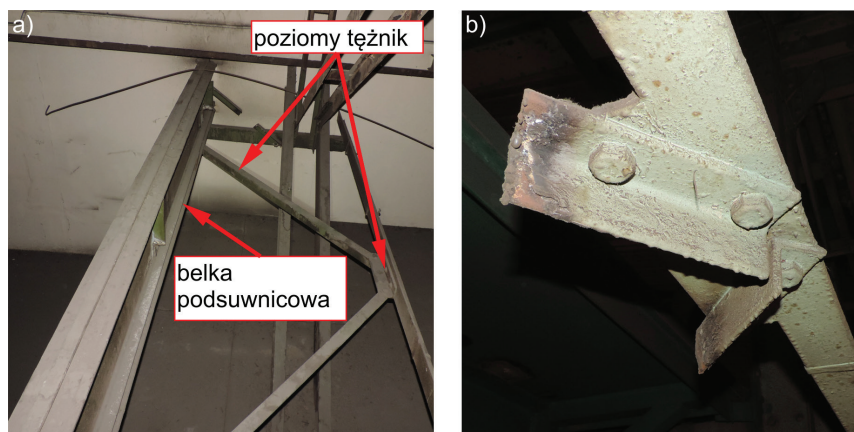
W swoim ponad stuletnim okresie użytkowania analizowana hala przemysłowa była przedmiotem licznych przeróbek i modyfikacji. Swoje piętno odcisnęły na niej skutki działań z okresu II wojny światowej. Ponadto niewłaściwa eksploatacja i brak bieżącej konserwacji sprawiły, że część elementów konstrukcyjnych uległa awarii.

### Uszkodzenia wojenne

Najpowszechniejszymi były uszkodzenia stalowych elementów konstrukcyjnych powstałe w trakcie działań wojennych. Były to głównie przetrzeleny i plastyczne deformacje dźwigarów kratowych, słupów i belek podsuwnicowych będące efektem ostrzału z broni o zróżnicowanym kalibrze (por. rys. 4.). Du-



Rysunek 2. a) Fragment przekroju podłużnego hali w osi B b) przekroju przez belkę podsuwnicową



Rysunek 3. a) Widok oryginalnego poziomego tężnika kratowego b) jego usunięty fragment



Rysunek 4. Widok przykładowego uszkodzenia będącego skutkiem działań wojennych

ża część uszkodzeń przetrwała do dnia dzisiejszego. Ponadto po uwzględnieniu aktualnie obowiązujących norm dotyczących oddziaływań klimatycznych wyężenie części elementów konstrukcji przekracza normowe

warunki nośności, co przy dodatkowym ich osłabieniu stwarza sytuację przedawaryjną.

Naprawy tego typu uszkodzeń polegały głównie na odtworzeniu uszkodzonego elementu lub uzupełnieniu powstałego ubytku.

Tabela 1. Skład chemiczny (% masowy) próbek z badanych stali

Próbka	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Ti
L60´6	0,027	0,373	0,005	0,054	0,085	0,006	0,053	0,000	0,001	0,013	0,003
L60´8	0,018	0,333	0,012	0,063	0,042	0,003	0,068	0,000	0,001	0,017	0,003
L75´50´7	0,019	0,458	0,003	0,077	0,037	0,000	0,043	0,002	0,001	0,014	0,003

Z uwagi na niespawalną stal elementów konstrukcyjnych wzmocnienia należało zaprojektować tak, aby wyeliminować spawanie. Stosowano wówczas połączenia śrubowe i w przypadku nitów zastąpiono je śrubami pasowanymi do połączeń sprężanych.

### Uszkodzenia zmęczeniowe

Belki podsuwnicowe w osiach B i C nawy B są w stanie przedawaryjnym. Jest on efektem pojawienia się pęknięć zmęczeniowych, które wykryto podczas badań magneto-proszkowych. Badania te przeprowadzono, ponieważ uzupełnienia wymagały spoiny łączące wykonane w latach 90. XX w. ściągi i pas dolny belki podsuwnicowej. Nie można jednoznacznie stwierdzić, kiedy nastąpiła inicjacja pęknięć, a także jaki jest ich okres propagacji. W celu zabezpieczenia konstrukcji przed zniszczeniem lub przed potencjalną katastrofą budowlaną wykonano w każdym przęśle po dwie tymczasowe podpory wieżowe. Widok tego podparcia pokazano na rys. 5.

W oparciu o analizę udostępnionej dokumentacji można stwierdzić, że do pojawienia się i propagacji wykrytych wskazań przyczynił się sposób eksploatacji hali w ostatnich latach. W tym czasie znacząco wzrosły obciążenia belek podsuwnicowych wynikające z montażu nowych suwnic i zwiększenia ich udźwigu.

Pojawienie się pęknięć prawdopodobnie wynika z:

- 1) długiego okresu eksploatacji belek podsuwnicowych (około 100 lat);
- 2) przekroczenia maksymalnych dopusz-

czalnych nacisków na koło suwnicy (130 kN);

- 3) zbyt dużych mimośrodków pomiędzy szyną a średnikiem belki podsuwnicowej;
- 4) niejednorodnej struktury stali, z której wykonano belki podsuwnicowe;
- 5) modyfikacji konstrukcji (w szczególności wprowadzanych poprzez spawanie) oraz uszkodzeń wojennych.

Użytkowanie suwnic w tym okresie doprowadziło do pojawienia się dużej zmienności naprężeń spowodowanych ww. przyczynami i w efekcie do przekroczenia wytrzymałości zmęczeniowej trwałej. Mechanizm kumulacji naprężeń wynikających ze zbyt dużych nacisków i mimośrodków szyny względem belki był już powodem awarii [6–7]. Liczne wtrącenia i zanieczyszczenia w stali historycznej przyczyniły się do zainicjowania mikropęknięć, a zbyt duże wartości zmienności naprężeń do ich propagacji. Następnie dochodziło do łączenia się mikropęknięć w większe struktury, które mogą być już zaobserwowane jako pęknięcia.

Nie bez znaczenia są również wprowadzone w okresie eksploatacji modyfikacje konstrukcji oraz uszkodzenia wojenne. Dodatkowe mocowania, wiercenie otworów, a zwłaszcza spawanie powoduje obniżenie wytrzymałości zmęczeniowej stali (i w konsekwencji nośności zmęczeniowej belek), ponieważ są to miejsca występowania karbów. Bardzo często – a tak jest w przypadku uszkodzeń wojennych oraz nietypowych modyfikacji konstrukcji – tego typu karby nie są ujęte w normie i ocena ich wpływu nie jest możliwa bez przeprowadzenia badań

doświadczalnych.

Naprawa lub wzmocnienie tego typu uszkodzeń jest bardzo kłopotliwa lub wręcz niemożliwa. Aktualnie trwają prace nad wyborem takiego rozwiązania, które umożliwiłoby użytkowanie hali bez jakichkolwiek obstrzeżeń. Zaproponowano trzy koncepcje: zastąpienie suwnicy natorowej suwnicą bramową, wymianę belek podsuwnicowych albo budowę nowej, niezależnej estakady wewnątrz hali. Z uwagi na przepisy BHP koncepcja pierwsza nie dojdzie do realizacji, a koncepcja druga jest uzależniona od stanu technicznego wieszaków, które częściowo podpierają belki podsuwnicowe. Stan ten jest aktualnie przedmiotem badań.

### Podsumowanie i wnioski

W artykule przedstawiono studium przypadku stalowej hali przemysłowej, która powstała na początku XX w. Mimo licznych uszkodzeń i swojej 100-letniej historii jest ona ciągle użytkowana. Przypadek ten pokazuje, że tego typu obiekty powinny być przedmiotem szczególnej kontroli ich stanu technicznego. Trudno sobie wyobrazić, że takie uszkodzenia mogły przetrwać do dnia dzisiejszego, zwłaszcza że niektóre z nich zagrażały życiu pracowników i mieniu firmy.

Należy również zwrócić uwagę na problem wytrzymałości zmęczeniowej obiektów historycznych. Bardzo często użytkownicy hali nie zdają sobie sprawy z tego rodzaju zagrożenia, a czasami są wręcz one bagatelizowane. Problem ten pojawia się również w stalowych mostach, w których historia obciążenia także jest niewiadomą.



Rysunek 5. Widok tymczasowego podparcia belek podsuwnicowych

### Literatura:

- [1] Kurrer K.-E., Geschichte der Baustatik. 2. Auflage, Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 2016.
- [2] Timoshenko, S. P., Historia wytrzymałości materiałów, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1966.
- [3] Gosowski B., Organek P., Redecki M., Bezpośrednie i pośrednie wyznaczanie wytrzymałości obliczeniowej stali w konstrukcjach budowlanych, „Materiały Budowlane”, nr 3/2014, s. 56–59.
- [4] Hołowaty J., Wichtowski B., Ocena wytrzymałościowa stali mostów historycznych w świetle badań nieniszczących, „Przegląd Spawalnicza – Welding Technology Review”, vol. 88, nr 10/2016, s. 51–56.
- [5] Chybiński M., Kurzawa Z., Polus Ł., Problems with Buildings Lacking Basic Design Documentation, „Procedia Engineering”, vol. 195, 2017, doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.519.
- [6] Hotała E., Rykaluk K., Zagadnienia trwałości stalowych konstrukcji w zmodernizowanych obiektach energetycznych, „Przegląd Budowlany”, nr 5/2010, s. 31–36.
- [7] Hotała E., Rykaluk K., Inicjowanie pęknięć zmęczeniowych w blachownicowych belkach podsuwnicowych, „Materiały Budowlane”, nr 5/2014, s. 84–86.

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA  
 Redecki Michał, Lorkowski Paweł, 2020,  
 Uszkodzenia i wzmocnienia stalowej ha-  
 li przemysłowej z początku XX w., „Builder”  
 04 (273). DOI: 10.5604/01.3001.0013.9708

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono studium przypadku uszkodzeń i wzmocnień hali przemysłowej z początku XX w., która jest aktualnie wykorzystywana przy produkcji podzespółów taboru kolejowego. W swoim ponad stuletnim okresie użytkowania analizowana hala przemysłowa była przedmiotem licznych przeróbek i modyfikacji. Swoje piętno odcisnęły na niej skutki działań z okresu II wojny światowej. Ponadto niewłaściwa eksploatacja i brak bieżącej konserwacji sprawiły, że część elementów konstrukcyjnych uległa awarii. W pracy zaprezentowano przykładowe uszkodzenia stalowych elementów konstrukcyjnych powstałych w trakcie działań wojennych, tj. przestrzeliny i plastyczne deformacje elementów konstrukcyjnych hali. Duża część uszkodzeń przetrwała do dziś. Ponadto w ujęciu aktualnie obowiązujących norm dotyczących ob-

ciążeń klimatycznych wyteżenie części elementów konstrukcji przekracza normowe warunki nośności, co przy dodatkowym ich osłabieniu stwarza sytuację przedawaryjną lub powodowało wręcz stan awaryjny. W artykule omówiono zastosowane sposoby naprawy uszkodzeń wojennych.

**Słowa kluczowe:** konstrukcja stalowa, hala przemysłowa, naprawa konstrukcji, wytrzymałość zmęczeniowa

**Abstract:** The article presents a case study of damages and reinforcements of an industrial hall from the beginning of the 20th century, which is currently used in the production of rail-way rolling stock components. In its over one hundred years of use, the analyzed industrial hall has been the subject of numerous alterations and modifications. The effects of World War II activities left their mark on it. In addition, improper operation and lack of ongoing maintenance meant that some structural components failed. The paper presents examples of damage to steel structural elements created during war operations, i.e. bullet holes and plastic deformations of hall structural elements. A large part of the damage has survived to this

day. Moreover, in terms of currently applicable standards for climatic loads, the effort of some structural elements exceeds the standard load-bearing conditions, which with additional weakening creates a pre-emergency situation or even caused an emergency. The article discusses the methods used to improve war damage.

**Keywords:** steel structure, industrial hall, structure strengthening, fatigue strength

REKLAMA



## PRZEDSIĘBIORSTWO ROBÓT INSTALACYJNYCH

59-900 Zgorzelec, ul. Podwale 12a

tel.: (75) 775-26-56 fax (75) 775-29-23

biuro@insbudzgorzelec.pl, www.insbudzgorzelec.pl

- projektowanie i wykonawstwo instalacji i sieci wod.-kan., c.o.,
- roboty ogólnobudowlane,
- budownictwo mieszkaniowe,
- budownictwo przemysłowe,
- hale,
- budowa stacji paliw,
- konstrukcje betonowe,
- konstrukcje żelbetowe,
- budowle hydrotechniczne,
- roboty melioracyjne i drogowe,
- przeciski pod drogą,
- wynajem sprzętu budowlanego,
- szalunki systemowe,
- maszyny.

