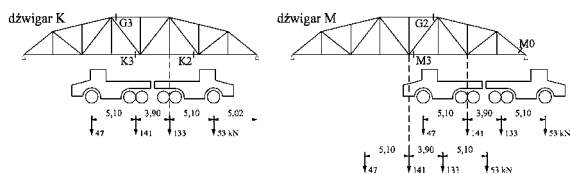


Podobnie obliczenia statyczne, uwzględniające współpracę pomostu, określiły wartość naprężeń na 8,0 MPa, a więc bardzo zbliżoną do otrzymanej z pomiarów wartości 8,23 MPa. Stwierdzoną współpracę pomostu potwierdziła również analiza sztywności konstrukcji. Maksymalne pomierzone ugięcie dźwigarów wyniosło 3,02 mm i jest ono bardzo zbliżone do ugięcia obliczonego, z uwzględnieniem współpracy pomostu, wynoszącego 2,96 mm.



Rys. 3. Dźwigniki kratowe (K i M): badane węzły i schematy próbnego obciążenia.

Fig. 3. Truss girders (K and M): tested nodes and loading arrangements.

Badania nieniszczące historycznego mostu drogowego o konstrukcji spawanej umożliwiły rozpoznać zły stan złączy spawanych, ocenić zachowanie przęsła pod obciążeniem i dopuścić go do dalszej eksploatacji bez jakiegokolwiek wzmocnienia. Wyniki badań pod próbnymi obciążeniami potwierdziły dużą sztywność kratowego przęsła spawanego i współpracę pomostu.

Badania diagnostyczne in situ potwierdziły, że są najbardziej wiarygodną ocenę nośności obiektów. Badania te w sposób globalny pozwalają ocenić rzeczywiste zachowanie się konstrukcji przy danych rozwiązaniach konstrukcyjnych. Rodzaje badań i zalecenia dotyczące projektowania wspomagane badaniami omawia Eurokod PN-EN 1990:2004/A1:2008. Według autorów, szczególnie przydatne są wyniki uzyskiwane z badań mostów historycznych. Takim obiektem jest pierwszy na świecie spawany most drogowy o konstrukcji kratowej.

Bernard Wichtowski\*, Krzysztof Pysiak

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

## Jakość spawanych połączeń doczołowych w stalowych mostach kolejowych Szczecina

### The quality of butt-welded joints in steel railway bridges in Szczecin

#### Streszczenie artykułu

#### 1. Wstęp

Wpływ niezgodności spawalniczych (NS), a w szczególności pęknięć w spoinach, należy rozpatrywać indywidualnie, biorąc pod uwagę krzywe wytrzymałości zmęczeniowej dla danej niezgodności i rozwiązania konstrukcyjne analizowanego złącza. Należy wtedy zastosować kryteria Przydatności Użytkowej Konstrukcji (Fitness for Purpose), na podstawie których można ustalić czy NS jest dopuszczalna z punktu widzenia mechaniki pęknięcia i rzeczywistego stanu obciążenia złącza. Takie podejście do odbioru złączy spawanych już od lat siedemdziesiątych XX wieku jest stosowane w rurociągach gazowniczych oraz zbiornikach ciśnieniowych i zostało wprowadzone w kilku normach światowych np.: API 1104/1983, PD 6493/1980, CAN/CSA-Z 184-M86.

Prekursorem idei przydatności użytkowej konstrukcji (PUK) w Polsce był prof. Andrzej Fabiszewski 1924-1978. To dzięki profesorowi w ramach tematu Ministerstwa Komunikacji MK 133-06-02-04 w latach 1956-1990 przeprowadzono badania rentgenograficzne spoin czołowych

dźwigarów około 200 eksploatowanych mostów kolejowych na terenie całego kraju.

W roku 2018 mija 40 rocznica śmierci Profesora. Z tej okazji autorzy pracownicy Zakładu Konstrukcji Metalowych ZUT w Szczecinie napisali niniejszy artykuł chcąc przybliżyć działalność naukową profesora Fabiszewskiego, który przez wiele lat kierował Katedrą Budownictwa Stalowego Politechniki Szczecińskiej i badaniami in-situ mostów stalowych. W artykule przedstawiono wyniki badań złączy spawanych 11 mostów kolejowych usytuowanych na terenie miasta Szczecina. W tym mieście profesor spędził większą część okresu swojej działalności zawodowej.

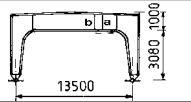
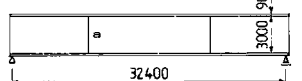
Artykuł napisano na 47 Krajową Konferencję Badań Nieniszczących, na której będzie on wygłoszony. Z uwagi na termin konferencji, 16-18 października 2018 r. i chęć zapoznania szerszej grupy spawalników z tymi badaniami oraz zachowując chronologię zdarzeń, artykuł opublikowaliśmy w Biuletynie Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach, nr 4/2018 w terminie przedkonferencyjnym. W niniejszym streszczeniu jedynie skrótowo przedstawiono badane obiekty mostowe i wyniki ich badań oraz określono stan naprężeniowy spoin z pęknięciami w dwóch wiaduktach eksploatowanych przez ponad 80 lat.

\*Autor korespondencyjny. E-mail: marekw@zut.edu.pl

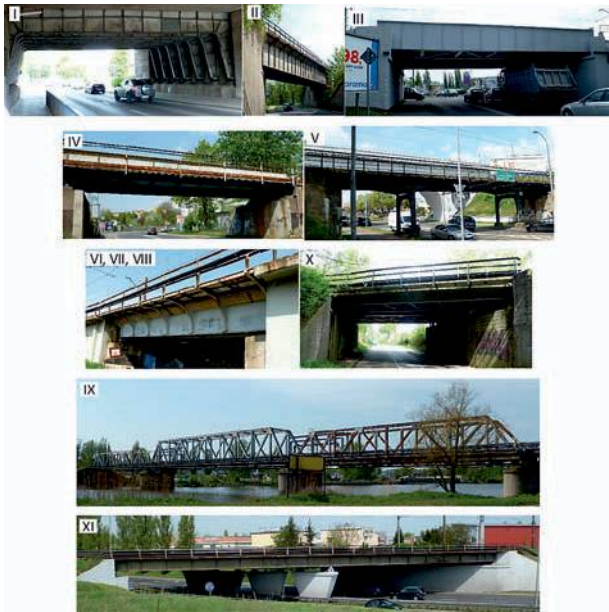
Tab. 1. Dane techniczne mostów i badań rentgenograficznych.  
Tab. 1. Technical data of bridges and of X-ray research.

Linia kolejowa	Nr mostu	Rok budowy	Liczba		Liczba rtg. zależna od poziomu jakości (z pęknięciami)						
					Strefa ściskana		Strefa rozciągana		Łącznie		Σ rtg.
			dźwigarów	bańd	B+, B, C	D, >D	B+, B, C	D, >D	B+, B, C	D, >D	
Poznań-Szczecin	I	1935	7	54	11	20 (4)	4	19 (7)	15	39 (11)	54
	II	1936	4	100	2	38 (24)	11	49 (12)	13	87 (36)	100
	III	1948	6	132	11	63 (44)	7	51 (31)	18	114 (75)	132
Szczecin-Trzebież	IV	1948	2	36	-	20	-	161	-	36	36
	V	1958	2	45	23	-	21	-	44	1	45
Wrocław-Szczecin	VI	1964	4	14	-	-	14	-	14	-	14
	VII	1964	4	42	6	-	36	-	42	-	42
	VIII	1964	4	88	4	-	84	-	88	-	88
SPa- Nab. Czeskie	IX	1964	6	78	-	-	78	-	78	-	78
Zdroje-Podjuchy	X	1972	2	16	8	-	8	-	16	-	16
Poznań-Szczecin	XI	1977	6	216	138	-	78	-	216	-	216
RAZEM			47	18	203	141 (72)	341	136 (50)	544	277 (122)	821
% w Σ rtg.			-	-	24,7	17,2	41,5	16,6	66,3	33,7	100

Tab. 2. Schematy dźwigarów nośnych i naprężenia normalne w spoinach oraz λ i Z<sub>rtg</sub>.  
Tab. 2. Schemes of carrying girders and normal stresses in the butt welds as well as λ and Z<sub>rtg</sub>.

Nr mostu	Schemat dźwigara i usytuowanie złącza z pęknięciami	obciążenia stałe	Naprężenia w MPa			λ = P <sub>eksp</sub> /P <sub>norm</sub>	Z <sub>rtg</sub> <sup>6)</sup> MPa
			układ obciążeń		pomierzone		
			P <sub>norm</sub>	P <sub>eksp</sub> <sup>1)</sup>			
I		σ <sub>a</sub> = 6,8	44,2	27,3	-	0,618	90,0
		σ <sub>b</sub> = 11,6	67,2	42,3	-	0,629	90,0
II		σ <sub>a</sub> = 24,0	89,8	62,3 <sup>2)</sup>	22,3 <sup>3)</sup> 28,4 <sup>4)</sup> 29,6 <sup>5)</sup>	0,694	90,0

<sup>1)</sup>lokomotywa ET21+obciążenie stałe; <sup>2)</sup> parowozy Pt31 z tendrami 32D29 + obc. stałe; <sup>3)</sup>obciążenie statyczne 2×Pt31 z tendrami; <sup>4)</sup>obciążenie dynamiczne v=20 km/h; <sup>5)</sup>obciążenie dynamiczne v=80 km/h; <sup>6)</sup>Z<sub>rtg</sub> wg badań własnych.



Rys. 1. Widok ogólny badanych mostów kolejowych.  
Fig. 1. General view of tested railway bridges.

### 1. Badane mosty kolejowe i ich wyniki

W latach 1957-1984 Zakład Konstrukcji Metalowych Politechniki Szczecińskiej przeprowadził badania rentgenograficzne złącza doczołowych 11 obiektów mostowych usytuowanych na terenie miasta Szczecina (rys. 1). Poddano je badaniom z różną częstotliwością od 1 do 4 badań. Wykonano 821 zdjęć złącza doczołowych, w tym 344 w strefie ściskanej i 477 w strefie rozciąganej.

Wykonane rentgenogramy spoin zgodnie z postanowieniami

normy PN-64/M-69772 zakwalifikowano do odpowiedniej klasy wadliwości R1-R5. Obecnie klasy te są porównywalne z poziomami jakości spoin B+, B, C, D i >D określonymi według PN-EN ISO 5917:2014 (tab. 1). W mostach nr I, II i III wybudowanych w latach 1935-1948 na 122 radiogramach stwierdzono pęknięcia spoin o zróżnicowanej długości. Oprócz pęknięć zasadniczą NS dyskwalifikującą badane spoiny był brak przetopu i zużycie pasmowe.

### 2. Naprężenia w spoinach mostów z lat 1935 i 1936

W celu poznania rzeczywistych wartości naprężeń w spoinach z pęknięciami, w mostach użytkowanych przez 83 i 82 lata (most nr I i II), w tabelicy 2 zestawiono ich wartości od obciążeń normowych i eksploatacyjnych. W kolumnie 3 podano wartości naprężeń od obciążenia stałego, a w kolumnie 4 od obciążenia stałego i ruchomego normowego z uwzględnieniem wpływów dynamicznych. Naprężenia normowe wyznaczono dla podstawowego układu obciążeń, przyjmując klasę obciążenia k = +2. W kolumnie 5 zestawiono wartości obliczonych naprężeń od obciążenia stałego i ruchomego lokomotywą ET21 dla mostu nr I oraz dwoma parowozami PT31 z napełnionymi całkowicie tendrami (170 kN) dla mostu nr II.

W kolumnie 6 określono pomierzone wartości naprężeń przy obciążeniu statycznym i dynamicznym, podczas badań tensometrycznych w 1962 r. Obciążeniem były dwa parowozy PT31 z tendrami 32D29. Łatwo zauważyć że każdorazowo wartości naprężeń eksploatacyjnych są około 30-35% mniejsze od wartości naprężeń według układu obciążeń P<sub>norm</sub> (kol. 7) oraz od wytrzymałości zmęczeniowej spoin z pęknięciami Z<sub>rtg</sub> = 90 MPa (kol. 8).