

BADANIA GATUNKU STALI KONSTRUKCYJNEJ PRZĘSEŁ STAREGO MOSTU¹

Józef RABIEGA
Politechnika Wrocławska

Na konstrukcję nośną pięcioprzęsłowego mostu drogowego nad rzeką Miedzianką i torami kolejowymi w km 1+736 drogi wojewódzkiej nr 354 przeznaczono m.in. cztery przęsła, wchodzące wcześniej w skład 16-przęsłowej przeprawy przez Odrę w ciągu drugorzędnej linii kolejowej Wriezen- Zäckerick-Alt Rüdnitz z 1892 roku, po której odbywał się również ruch drogowy i pieszych. Piąte przęsło tego mostu wykonano z prefabrykatów typu Kujan. Obecnie most ten poddany został przebudowie (wymiana żelbetowej płyty pomostu) i wzmocnieniu (przez sprężenie zewnętrzne dolnych pasów kratowych dźwigarów głównych oraz dodanie górnego trzeciego pasa), na potrzeby czego zostały wykonane stosowne wzmocnienia jego przęseł i podpór do klasy B, po wcześniejszych obliczeniach i ustaleniach gatunku i wytrzymałości obliczeniowej stali.

Słowa kluczowe: przebudowa pomostu, wzmocnienia przęseł, badania stali.

1. WPROWADZENIE

Wybudowany w 1959 roku pięcioprzęsłowy most w ciągu drogi wojewódzkiej nr 354 w Bogatyni przechodził ostatnio gruntowną przebudowę, w ramach której między innymi wymieniono płytę pomostu, naprawiono skorodowane pręty kratowych dźwigarów głównych oraz wzmocniono je przez zewnętrzne sprężenie pasa dolnego i dodanie górnego tzw. trzeciego pasa. Cztery przęsła kratowe z Siekierok, o rozpiętości teoretycznej 35,50 m, po ich przetransportowaniu do Bogatyni, przekonstruowaniu do skosu 67° oraz zwiększeniu na nich rozstawu dźwigarów głównych z 4,60 m do 8,36 m, a także wykonaniu czterech nowych podłużnic (dwie centralne wzięto ze starych przęseł) w rozstawie 1,40 m i nowych poprzecznic oraz stężeń dolnych, przeznaczono na most drogowy po ułożeniu nawierzchni bitumicznej na niewspółpracującej płycie żelbetowej. Na podstawie studiów literaturowych stwierdzić można było, że materiał konstrukcyjny przęsła to stal zgrzewna (Schweisseisen) [5]. Jednak postanowiono to zweryfikować oraz próbować ustalić jej parametry wytrzymałościowe za pomo-

¹ DOI 10.21008/j.1897-4007.2017.24.19

całą badań laboratoryjnych, głównie ze względu na konieczność podniesienia nośności obiektu do klasy B oraz ewentualnego zastosowania spawania. Na konstrukcję przęseł zastosowano m.in. kształtowniki walcowane w Friedenshütte (Hucie Pokój z Rudy Śląskiej), Hucie Kladno i innych hutach. Podczas prac inwentaryzacyjnych wykonano również odwierty próbne na górnych pasach belek pomostu, w celu stwierdzenia ewentualnego zespolenia żelbetowej płyty pomostowej z podłużnicami i poprzecznicami [12]. Postanowiono również pobrać próbki stali z przęseł mostu i poddać je badaniom laboratoryjnym. Całe przedsięwzięcie, ze względu na duży stopień trudności zagadnienia, rozłożone było w czasie, stąd badania stali miały różne pochodzenie, gdyż realizowane były w trzech ośrodkach.

2. BADANIA STALI PRZĘSEŁ MOSTU W BOGATYNI

2.1. Pierwsze badania (2010 r.)

Na rys. 1. pokazano weryfikację zespolenia płyty pomostu oraz przebieg pobierania próbki stali z pasa górnego dźwigara kratowego [12].



Rys. 1. Weryfikacja zespolenia płyty z dźwigarami i pobieranie próbki stali [12]

Na potrzeby oceny nośności obiektu wykonano badania gatunku stali przęseł mostu w Laboratorium Chemicznym Działu Kontroli Jakości w ArcelorMittal Warszawa (tabela 1).

Tabela 1. Świadczenie badań składu chemicznego nr 6/2010

Numer próby	Skład chemiczny (%)												
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	Sn	W	V
II	0,03	0,37	<0,01	0,050	0,023	0,02	0,03	0,04	0,01	<0,001	0,008	0,001	0,001
G II	0,03	0,38	<0,01	0,020	0,031	<0,01	0,03	0,03	0,01	<0,001	0,003	0,001	0,001
D II	0,03	0,36	<0,01	0,033	0,036	0,01	0,03	0,02	0,01	<0,001	0,005	0,001	0,001

Próbki zostały poddane analizie chemicznej przy użyciu spektrometru emisyjnego SPECTROLAB M oraz analizatora węgla i siarki CS LECO 125. Badania wykonano w ArcelorMittal Warszawa.

2.2. Drugie badania (2014 r.)



Rys. 2. Pobieranie próbki do badań stali

Wyniki kolejnych badań składu chemicznego, wykonanych metodą spektralną a także pomiary twardości metodą Vickersa za pomocą twardościomierza Zwick 321 na przekroju poprzecznym próbki stali pobranej z przewiązki pasa górnego dźwigara kratowego od strony Bogatyni, zestawiono w tab. 2.

Tabela 2. Wyniki analizy składu chemicznego (%)

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Al	Ti	Co	As	B	Pb
0,0320	0,1510	0,1100	0,1160	0,0100	0,0020	0,0290	0,0020	0,0010	0,1640	0,0070	0,0030	0,0260	0,0320	0,0002	0,0050

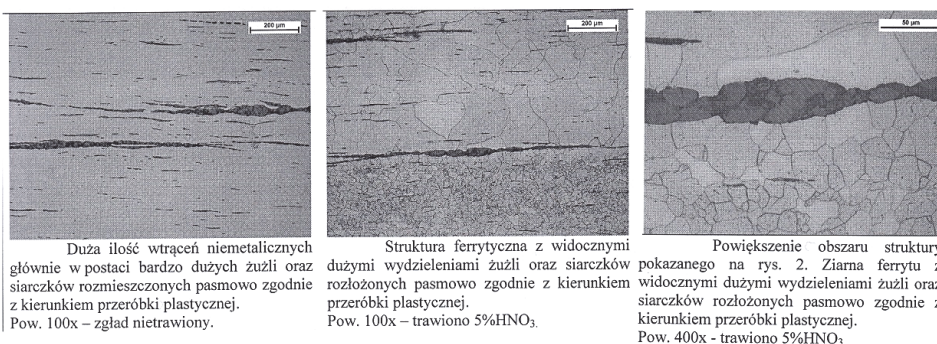
Dla badanej próbki stali twardość wynosi $HV_{10} = 108$, a równoważnik węgla:

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} = 0,071 < 0,45 \quad (2.1)$$

Przeprowadzono również obserwacje mikroskopowe na szlifach wykonanych na przekroju wzdłużnym, stosując powiększenia z zakresu od 100x do 400x w stanie nietrawionym oraz po wytrawieniu odczynnikami Mi1Fe według normy PN-61/H-04503. Stosowano mikroskop metalograficzny Neophot 32 sprzężony z kamerą cyfrową CCD Insight Spot.

W stanie nietrawionym stwierdzono występowanie bardzo dużej ilości wtrąceń niemetalicznych, głównie w postaci dużych żużli oraz siarczków rozmieszczonych pasmowo zgodnie z kierunkiem przeróbki plastycznej badanego elementu. Po wytrawieniu 5% HNO_3 (Mi1Fe) stwierdzono strukturę ferrytyczną

o zróżnicowanej wielkości ziarna z dużymi wydzieleniami żużli oraz siarczków rozłożonych pasmowo zgodnie z kierunkiem przeróbki plastycznej. W wyniku przeprowadzonej analizy chemicznej próbki stali i jej struktury ustalono, że badany materiał odpowiada niskowęglowej stali zgrzewnej i mimo niskiej wartości CEV stal ta nie powinna być łączona poprzez spawanie. Badany materiał nie wykazuje strukturalnych objawów degradacji.



Rys. 3. Wyniki obserwacji mikroskopowych

2.3. Trzecie badania (2015 r.)



Rys. 4. Miejsce pobrania próbki i zdemontowane przewiązki pasa górnego

Kolejne badania, wykonano w Zakładzie Badań Spawalności i Konstrukcji Spawanych Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach [14]. Celem badań było określenie własności wytrzymałościowych oraz spawalniczych stali, której próbki pobrano z przewiązek górnych pasów kratownicowych dźwigarów głównych dwóch przęseł od strony Elektrowni Turów (od południa). W celu określenia własności spawalniczych materiału wykonano badania składu chemicznego, udarności i własności wytrzymałościowych. Badania składu chemicznego zrealizowano przy pomocy spektrometru iskrowego typu Q4 Tasman firmy BRUKER produkcji niemieckiej. Wyniki badań zestawiono w tabeli 3. Miejsce pobrania i oznaczenie próbek do badań to pierwsze przewiązki z pasa górnego

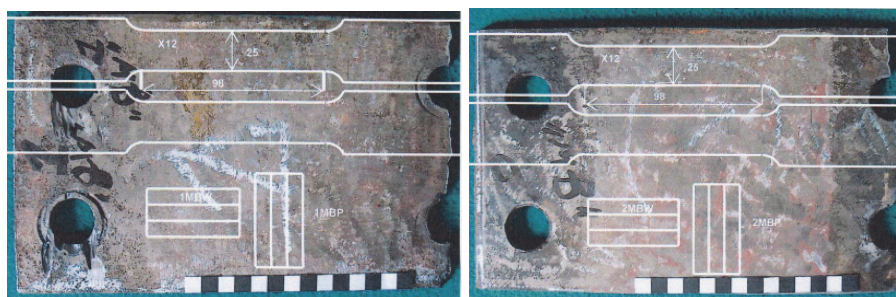
dźwigara kratowego w przęśle nr 1 i 2 od strony lewego brzegu rzeki. Sposób pobrania próbek do badań na rozciąganie i udarność pokazano na rys. 5.

Tabela 3. Zestawienie zawartości pierwiastków stopowych (%)

Kryterium	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	V	Al	Nb	Ti
1MB	0,042	0,397	0,006	0,032	0,029	0,193	0,005	0,025	0,004	0,002	0,003	0,005	<0,001
2MB	0,041	0,392	0,008	0,031	0,027	0,199	0,005	0,026	0,004	0,002	0,003	0,006	<0,001
S235JR [11]	0,19	1,5	NZ	0,045	0,045	0,600	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ
St3SX [12]	0,22	1,1	0,07	0,050	0,050	0,300	0,300	0,300	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ

NZ – nie oznacza się

Z przedmiotowych wycinków pobrano materiał do wykonania próbek udarności w kierunku równoległym oraz poprzecznym zgodnie z normą PN-EN ISO 148-1 [7]. W tabeli 4 zestawiono wyniki przeprowadzonych badań udarności (pracy łamania KV).



Rys. 5. Sposób pobrania próbek do badań na rozciąganie i udarność

Tabela 4. Zestawienie wyników badań udarności dla $T = 20^{\circ}\text{C}$ (J)

Oznaczenie próbki	1MBP1	1MBP2	1MBP3	1MBW1	1MBW2	1MBW3	2MBP1	2MBP2	2MBP3	2MBW1	2MBW2	2MBW3
Wyniki badań	29	12	33	38	48	42	32	36	31	54	74	75
Wartość średnia	24,7			42,7			33,0			67,7		

Badania na rozciąganie wykonano według normy [8], a ich wyniki przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Wyniki próby rozciągania

Numer próbki	Wymiary próbki			R _{0,2}	R _m	A ₅
	a ₀ x b ₀ (mm x mm)	L ₀ (mm)	S ₀ (mm ²)	(MPa)	(MPa)	(%)
1MB/1	12x24,9	98	298,8	281,5	389,5	26,7
1MB/2	12x24,9	98	298,8	260,4	377,4	34,5
2MB/1	11,93x25	98	298,3	244,3	354,3	32,7
2MB/2	11,93x25	98	298,3	– ¹⁾	346,6	31,7

¹⁾ Próbka zerwana w szczękach, wyznaczenie R_e niemożliwe

Badania składu chemicznego wykazują, że jest to stal nieuspokojona, o niewielkiej zawartości węgla (0,042%), małej zawartości manganu (0,397%) i krzemu (0,008%). Zawartości zanieczyszczeń takich jak fosfor (0,032%) i siarka (0,029%) nie przekraczają wartości dopuszczalnych według norm [9] i [10]. Wyniki badań udarności (tab. 4) w jednym przypadku wykazują niespełnienie wymagań dla stali St3SX, a badania własności wytrzymałościowych (tab. 5) wykazują, że przedmiotowy materiał można zidentyfikować jako stal w gatunku St3SX wg [10] lub S235JR [9]. Według publikacji [11] stale nieuspokojone można stosować na elementy konstrukcyjne o grubości do 12,5 mm pracujące w warunkach obciążeń statycznych i dynamicznych, w krajowych warunkach atmosferycznych. Przeprowadzone badania wykazały, że przedmiotową stal można porównać ze stalą w gatunku St3SX (materiał poddany badaniom częściowo odpowiada nieuspokojonej stali niestopowej spełniającej wymagania dla gatunku St3SX). Ze względu na niską odporność na kruche pękanie (stal częściowo spełnia wymaganie pracy łamania w temperaturze 20°C) można ją stosować na elementy drugorzędne, o grubości nie przekraczającej 12,5 mm. Przedmiotową stal można spawać przy pomocy elektrod otulonych, metodą MAG oraz łukiem krytym uznaną technologią spawania. Procedury uznania powinny być realizowane zgodnie z odpowiednimi normami pod nadzorem kompetentnego personelu. Badania dla celu uznania technologii należy prowadzić w uznanym laboratorium badawczym. Należy zwrócić uwagę na możliwość występowania porowatości.

2.4. Wnioski z badań stali

Wykonane na potrzeby oceny stanu mostu [12] i projektu jego remontu i wzmocnienia [13][14] laboratoryjne badania składu chemicznego próbek stali pobranych z przęsła wykazały, że jest to stal zgrzewna. Na podstawie studiów literatury [5] i na podstawie wyżej wymienionych badań laboratoryjnych ustalono również, że przęsła mostu wykonano ze stali zgrzewnej, dla której ostatecznie przyjęto jako wytrzymałość obliczeniową 160 MPa. Badania stali starych mo-

stów powinny obejmować oprócz badań chemicznych i na rozciąganie również badania metalograficzne w celu trafnej oceny jej gatunku.

3. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone, dość obszerne, badania próbek stali [12][14] pobranych z przęseł kratowego mostu drogowego w Bogatyni oraz studia materiałów archiwalnych dotyczących pochodzenia przęseł [13][15] mogą stanowić podstawę do wyciągnięcia następujących spostrzeżeń:

- 1) Z racji zawiłych wydarzeń historycznych, które odbijają się na losie obiektów mostowych, wielką sztuką jest należyte udokumentowanie kolejnych etapów istnienia danego obiektu, które mogą rzutować bezpośrednio na ocenę jego stanu technicznego, nośności oraz dalsze przeznaczenie;
- 2) Oprócz badań składu chemicznego, wyznaczenia równoważnika węgla, badań udarności i wytrzymałości na rozciąganie należy, szczególnie w przypadku badań stali ze starych mostów, wykonać obserwacje mikroskopowe na szlifach wykonanych na przekroju wzdłużnym, stosując powiększenie z zakresu od 100x do 400x w stanie nietrawionym oraz po wytrawieniu;
- 3) Przed przystąpieniem do prac ekspertyzowych, projektowych i naprawczych oraz wzmacniających dane przęsła mostu należy zrobić kwerendę po dawnych zarządcach obiektu, przestudiować dostępną literaturę przedmiotu oraz dokonać niezbędnych badań materiałowych w celu trafnej oceny parametrów wytrzymałościowych stali konstrukcyjnej przęseł;
- 4) Nie bez znaczenia jest też sposób i miejsce pobierania próbek stali, a także późniejsza poprawna interpretacja wyników badań oraz ich rozpowszechnienie i udokumentowanie, aby ustrzec się w przyszłości potrzeby następnych pobierań próbek, a przez to przyczynić się do oszczędności przęsła mostu;
- 5) Miejsce pobrania próbek do badań należy lokalizować w miejscach niewidocznych dla obserwatora z zewnątrz, najlepiej w strefie za podparciem, a następnie uzupełnić do stanu pierwotnego, najlepiej za pomocą spawania oraz zabezpieczyć je przez pokrycie powłokami malarskimi.

LITERATURA

1. Koehler, Kober., *Der Neubau der Oderbrücke bei Zäckerick-Alt-Rüdnitz*. Die Bautechnik J. 9, 1931, Heft 44, 643–647.
2. Koehler, Kober., *Der Neubau der Oderbrücke bei Zäckerick-Alt-Rüdnitz*. Die Bautechnik J. 9. Heft 46, 670–673.
3. Schaper G., *Die über die grossen deutschen Ströme führenden Eisenbahnbrücken*. In: *die Reichsbahn* 7 (1931), nr 22, 519–534, insbes, 531.
4. Braun M., *Die Brücke über die Oder bei Zäckerick*. Bautechnik 84 (2007), Heft 1, 60–69.

5. Lauer, *Die Hebung der Oderbrücke bei Zäckerick*. Zentralblatt der Bauverwaltung No 29, Stettin 09.04.1910, S. 202–204.
6. Historia mostu w Siekierkach, spisana w oparciu o dokumenty archiwalne w DOG Szczecin.
7. PN-EN ISO 148-1 *Metale. Próba udarowości sposobem Charpy'ego. Część 1: Metoda badania*.
8. PN-EN ISO 6892:2010 P *Metale. Próba rozciągania. Część 1: Metoda badania w temperaturze pokojowej*.
9. PN-EN 10025-2 *Wyroby walcowane na gorąco ze stali konstrukcyjnych. Część 2. Warunki techniczne dostawy stali konstrukcyjnych niestopowych, dla stali w gatunku S235JR*.
10. PN-H-84020:1988 *Stal niestopowa konstrukcyjna ogólnego przeznaczenia. Gatunki dla stali w gatunku St3SX*.
11. *Wytyczne doboru stali konstrukcyjnej węglowej, zwykłej jakości, na konstrukcje stalowe budowlane, maszyn i urządzeń*. Wyd. WEMA, Warszawa 1974.
12. Kordjak T., Warzocha M., *Ocena stanu technicznego i analiza nośności wiaduktu nad PKP w m. Turoszów w km 1+736 drogi wojewódzkiej nr 354*. PROMOST Consulting. Diagnostyka i Naprawy Konstrukcji. Warszawa 2009
13. Höffner R., Rabięga J., Wątroba P., Kostiuk R., *Projekt wykonawczy dla zadania inwestycyjnego pod nazwą: „Remont mostu w ciągu drogi wojewódzkiej nr 354 w km 1+736 w miejscowości Turoszów”*. PBW Inżynieria, MOSTY 2016.
14. Orzeczenie nr ZB/23/2015 p.t.: „Określenie własności stali elementów konstrukcji stalowej.” Instytut Spawalnictwa, Gliwice 2015.
15. Rabięga J., Höffner R., Wątroba P., Kożuch M., Kostiuk R., *Wzmocnienie przęseł kratowych oraz podpór mostu drogowego w Bogatyni, XXVII Seminarium „Współczesne metody budowy, wzmocniania i przebudowy mostów”*. Politechnika Poznańska, Rosnówko 2017.
16. Rabięga J., *Historia mostów kolejowych na Odrze w pobliżu Siekierok. XXVII Seminarium „Współczesne metody budowy, wzmocniania i przebudowy mostów”*. Rosnówko 2017. Politechnika Poznańska.

DETERMINATION OF STRUCTURAL STEEL GRADE OF AN OLD BRIDGE

Summary

The structure of the five-span road bridge over Miedzianka river and railroad tracks in kilometer 1+736 of voivodeship road 354 includes among others four spans from 16-span bridge built in 1892 for secondary railway Wriezen- Zäckerick-Alt Rüdnitz. Fifth span of the road bridge was built with prestressed Kujan beams. Nowadays the bridge was reconstructed (replacement of the concrete deck) and reinforced (external prestressing of bottom chords of the truss girders and application of a third chord), implementing appropriate strengthening of its spans and piers up to B load class, after foregoing calculation and determination of steel grade and strength.