

Jakość spoin w stalowych mostach w świetle wprowadzonych w 2014 r. zmian w wymaganiach norm PN-EN 1993-1-1 i PN-EN ISO 5817

Quality of welds in steel bridges according to 2014 revisions of requirements in PN-EN 1993-1 and PN-EN ISO 5817

Streszczenie

W 2014 r. w normie PN-EN 1993-1-1 wprowadzono nowe zależności przy ustalaniu klas wykonania konstrukcji stalowych, a w normie PN-EN ISO 5817 wprowadzono dodatkowe wymagania dla spoin w stali narażonej na zmęczenie. W artykule przedstawiono formę i zakres prowadzonych prac nad modernizacją Eurokodów przez Europejski Komitet Normalizacyjny. Omówiono poszczególne nowe wymagania określone przez powyższe dwie normy.

Słowa kluczowe: mosty stalowe; klasy wykonania; złącza spawane

Abstract

New regulations for selection of an execution class for steel structures were introduced in PN-EN 1993-1-1 and additional requirements for welds subjected to fatigue were introduced in PN-EN ISO 5817 in 2014. The form and the range of conducted works on modernisation of Eurocodes executed by European Committee for Standardisation are presented. New particular requirements described by the standards were discussed.

Keywords: steel bridges; execution classes; welded joints

Wstęp

Gwarantem dobrze wykonanej konstrukcji spawanej powinna być jej realizacja w zakładach zakwalifikowanych do odpowiednich klas wykonania [1]. W PN-EN 1090-2 z roku 2009 [2] podano cztery klasy wykonania, od najmniej rygorystycznej – EXC1, do najbardziej wymagającej – EXC4. Klasy wykonania konstrukcji ustalało się, uwzględniając: klasy konsekwencji (CC1÷CC3) wg PN-EN 1990 [3] oraz kategorie użytkowania (SC1, SC2) i kategorie produkcji (PC1, PC2) wg [2], zgodnie z tablicą I. Wytyczne doboru klas wykonania oraz informacje dodatkowe, które należy określić w specyfikacji przy wykonywaniu konstrukcji stalowej, zamieszczono w tablicach A.1÷A.3 normy PN-EN 1090-2 [2], a zagadnienie spawalnicze z tym związane omówiono w poz. [4]. W zależności od danej klasy wykonania wymagany jest odpowiedni poziom jakości złączy spawanych: D, C, B, B+ określony przez PN-EN ISO 5817 [5] (por. tabl. I).

Zmiana do PN-EN 1993-1-1:2006/A1 [6] z lipca 2014 r. wprowadziła, zgodnie z Załącznikiem C, nowe ustalenie klas wykonania dobierane na podstawie tablicy II. Czynniki determinujące ten wybór w odniesieniu do konstrukcji budowlanej dotyczą:

- klasy niezawodności RC3÷RC1 przyjmowanej wg Załącznika B normy [3],

- klasy konsekwencji CC3÷CC1 przyjmowanej wg Tablicy B1 normy [3],
- obu powyższych klas jednocześnie,
- rodzaju konstrukcji w zależności od obciążenia statycznego lub zmęczeniowego.

Tablica I. Ustalanie klas wykonania oraz poziomy jakości niezgodności spawalniczych

Table I. Selection of the execution classes and quality levels of welding imperfections

Klasy konsekwencji		CC1		CC2		CC3	
		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Kategorie produkcji	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC3
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC4
Poziom jakości złącza danej klasy wg [5]		EXC1-D, EXC2-C			EXC3-B, EXC4-B+		

Dr hab. inż. Bernard Wichtowski, em. prof. ZUT; dr inż. Janusz Hołowaty – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: jah@wp.pl

Tablica II. Dobór klasy wykonania – EXC (por. tabl. C.1 [6])
Table II. Selection of execution class – EXC (see table C.1 [6])

Klasa niezawodności (RC) lub Klasa konsekwencji (CC)	Rodzaj obciążenia	
	Statyczne, quasi-statyczne lub sejsmiczne, gdy DCL ^{a)}	Zmęczeniowe ^{b)} lub sejsmiczne, gdy DCM lub DCH ^{a)}
RC3 lub CC3	EXC3 ^{c)}	EXC3 ^{c)}
RC2 lub CC2	EXC2	EXC3
RC1 lub CC1	EXC1	EXC2

^{a)} Sejsmiczne klasy ciągliwości: Niska = DCL, Średnia = DCM; Wysoka = DCH
^{b)} Patrz EN 1993-1-9
^{c)} W przypadku ekstremalnych konsekwencji zniszczenia może być klasa EXC4

Jednocześnie od sierpnia 2014 r. obowiązuje nowa PN-EN ISO 5817 [5], która w Załączniku C podaje dodatkowe wymagania dla spoin w stali narażonej na zmęczenie. Prawdopodobnym jest, że wprowadzenie nowych powyższych wymogów normowych nastąpiło w wyniku wielu krytycznych uwag dotyczących zaleceń zawartych w pierwotnych wydaniach tych norm. Uwagi te dotyczyły głównie dodatkowo wprowadzonych wymogów do klasy wykonania EXC4; w szczególności do kryterium akceptacji niezgodności spawalniczych (NS) określonych w normie [2]. Wykaz tych wymagań omówiono w [7,8], a uwagi krytyczne przedstawiono m.in. w poz. [9÷11]. Próbę rekapitulacji wniosków krytycznych zawartych w tych publikacjach, w porównaniu z zaleceniami znowelizowanych norm [5,6], przedstawiono w niniejszym artykule.

Uwagi o Eurokodach

Polska jako członek Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego (CEN) i Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego Elektrotechniki (CENELEC) od 1 stycznia 2004 r. bierze udział w opracowywaniu norm europejskich.

Według osobistych opinii autorów, istnieje tendencja rozszerzania i rozbudowy euronorm. Przykładowo, wg [12]: „Objętość pakietu norm podstawowych dla projektanta branży mostowej zwiększyła się po wprowadzeniu Eurokodów z 239 do 2119 stron, a więc prawie dziewięciokrotnie”. W nowych normach są zawarte najbardziej szczegółowe wzory, a pozostałe jedynie na podstawie ograniczonych doświadczeń. Przykładami są:

- brak w normach Eurokodu 3 wymagań dotyczących połączeń spawanych według zaleceń euronorm spawalniczych PN-EN 1708-1 i PN-EN 1708-2 [13];
- dyskusyjne wprowadzenie podwyższonego poziomu jakości spoin B+ [2,4,7÷9];
- przyjmowanie niezgodności spawalniczych wg Hobbachera A. i Kassnera M. [7], a nie wg PN-EN 1993-1-9, w Załączniku C PN-EN ISO 5817;
- brak jednorodności wymagań odnoszących się do wykonawstwa i zakresu badań spoin czołowych w blachach pomostów ortotropowych według funkcjonujących równolegle norm PN-EN 1090-2 [2] i PN-EN 1993-2 [14] – tablica III.

Nowe wymagania wyznaczono bez pełnego literaturowego rozpoznania zagadnienia, bez analizy wyników badań modelowych i bez analizy wyników badań analogicznych spoin. Norma dla mostów stalowych [14] zezwala przy zalecanym, podanych w normie, grubościach blachy poziomej pomostu na rezygnację z obliczania w nich momentów zginających. Jednocześnie w tym samym Załączniku C wprowadza dodatkowe zastrzeżenia

dotyczące spoin blach poziomych oraz uzależnienia zakres ich badań od wartości występujących w nich naprężeń, a przy $\sigma \leq 0,60 f_y$ zezwala na całkowite zrezygnowanie z badań rentgenograficznych RT (por. tabl. III). Jak określić jakość spoin, gdy nie są one badane radiograficznie, a nawet nie są poddane kontroli wizualnej?

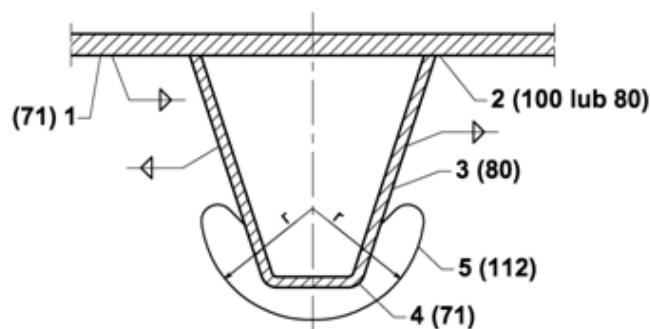
Według Prezesa PKN (IIB nr 10/2016): „jakość normy jest taka, jaka jest jakość ekspertów, którzy ją tworzą”. Normy są mało czytelne, gdyż ominięto w nich wstępne części wprowadzające do projektowania. Jednocześnie załączniki zawierają bardzo szczegółowe informacje lub materiał, który jest rzadko stosowany. W tworzeniu norm jest zbyt mały udział inżynierów praktyków. Negatywne opinie środowiska projektanckiego Europy w odniesieniu do złożoności i mało przyjaznego formatu pierwszych wersji Eurokodów zobligowały Europejski Komitet Normalizacyjny do wprowadzenia poprawek i korekt. Formę i zakres prowadzonych prac nad modernizacją programu Eurokodów opisał prof. A. Kozłowski w [15]. Dokładnie opisano tam prace naprawcze 7 norm projektowania konstrukcji stalowych (EN 1993) i 3 norm projektowania konstrukcji zespolonych (EN 1994).

Nowa, druga, poprawiona i zmieniona edycja Eurokodów konstrukcyjnych EC3 i EC4 zapowiadana jest na koniec 2020 r. i będzie z pewnością znacznie jakościowo lepsza od pierwszej, gdyż uwzględni zbierane od kilku lat propozycje poprawek. Spośród nich najistotniejsze przedstawiono w [15].

Uwagi o wprowadzonych zmianach w omawianych normach

Wprowadzone poprawki w dwóch przedmiotowych normach dotyczą analogicznego zagadnienia, tj. wytrzymałości zmęczeniowej. W normie [6] dobór klas wykonania uzależniono od obciążenia statycznego i zmęczeniowego, a w normie [5] wprowadzono dodatkowe wymagania do spoin narażonych na obciążenie zmęczeniowe [7,8,16].

Projektowanie mostów drogowych i kolejowych z uwagi na zmęczenie należy prowadzić zgodnie z punktem 9 PN-EN 1993-2. W normie tej podano kategorie zmęczeniowe $\Delta\sigma_c$, jedynie dla pięciu obszarów krytycznych mostu kolejowego z płytą ortotropową wg rysunku 1 (wartości $\Delta\sigma_c$ w nawiasach).

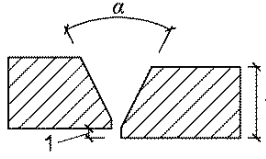
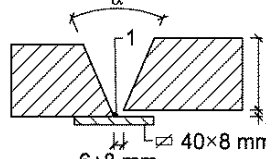
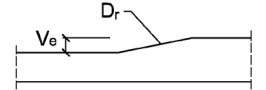
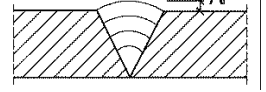


Rys. 1. Obszary krytyczne z uwagi na zmęczenie (1÷5) i kategorie zmęczeniowe [14]

Fig. 1. Critical regions for fatigue (1÷5) and detail categories [14]

Należy żałować, że wzorem zaleceń brytyjskich [17] nie podano kategorii użytkowej projektowanej konstrukcji mostowej w zależności od poziomu przyjmowanych obciążeń (tabl. IV) i rozwiązań konstrukcyjnych (tabl. V). Dane te umożliwiają przyjęcie już w projektowanej konstrukcji odpowiedniej klasy zmęczeniowej złączy spawanych, określonej w PN-EN 1993-1-9 [18] – patrz tablica VI.

Tablica III. Wymagania normowe dotyczące spoin czołowych poprzecznych w blachach poziomych pomostów ortotropowych [2,14]
Table III. Standard requirements for transverse butt welds in deck plates of orthotropic decks [2,14]

Kryterium	Naprężenia σ_{Ed}	Badania ^{a)}	Poziom jakości	Naprężenia + σ blacha	Badania ^{a)} odchyłka	Poziom jakości
wg [14] – tabl. C.4 wg [2] – tabl. D.2.16	wg PN-EN 1993-2 [14] (tabl. C.4 + C.5)		wg PN-EN 1090-2 [2] (p. 12.4.2 + tabl. 24 + 17 + D.2.18)			
1) Połączenia blachy poziomej pomostu bez podkładek  1 – odchylenie ≤ 2 mm	rozciągające $\leq 0,90 f_{yk}$ $> 0,75 f_{yk}$	100% – VT 100% – RT	B+ wg tabl. C.5 ^{b)}	etap I – pierwszych 5 złączy – każde o $l \geq 900$ mm	100% – VT 100% – RT	B+ wg tabl. 17
	$\leq 0,75 f_{yk}$ $> 0,60 f_{yk}$	100% – VT 100% – RT		etap II rozciągające $\geq 0,5 f_y$	100% – VT 100% – RT	
	$\leq 0,60 f_{yk}$ lub ściskające	100% – VT		$< 0,50 f_y$	100% – VT 50% – RT	
2) Połączenie blachy poziomej pomostu za pomocą podkładki  1 – spoina szczipna 2 – odchylenie ≤ 2 mm	rozciągające $\leq 0,90 f_{yk}$ $> 0,75 f_{yk}$	100% – VT 100% – RT	B+ wg tabl. C.5 ^{b)}			B+ wg tabl. 17
	$\leq 0,75 f_{yk}$ $> 0,60 f_{yk}$	$\geq 50\%$ – VT 10% – RT				
	$\leq 0,60 f_{yk}$ lub ściskające	100% – VT				
	brak danych			$t \leq 10$ mm $10 < t \leq 70$ $t > 70$ mm	poziom $V_e = 2$ mm $V_e = 5$ mm $V_e = 8$ mm	
	brak danych			$t \leq 10$ mm $10 < t \leq 70$ $t > 70$ mm	nachylenie $D_r = 8\%$ $D_r = 9\%$ $D_r = 10\%$	
	brak danych			–	nadlew $A_r = -0$ mm $A_r = +1$ mm	

^{a)} VT – kontrola wizualna po spawaniu; RT – badania radiograficzne [9]
^{b)} W tabl. C.5 podano warunki uzupełniające dotyczące nieciągłości według [5]

Tablica IV. Kategorie użytkowe mostów stalowych [17]
Table IV. Quantified service categories for steel bridges [17]

Poziom użytkowych obciążeń		Kategoria użytkowa	Współczynnik statycznego wykorzystania $k = E_d/R_d$ ^{a)}	Kategoria zmęczenia $\Delta\sigma_c$ w MPa ^{b)}
statyczne	zmęczeniowe			
Obniżony	Bardzo niski	F36	rozciąganie $k \leq 0,6$ ścinięcie $k \leq 0,8$ ściskanie $k \leq 0,8$	$\Delta\sigma_c \leq 36$
Pełny	Niski	F56	–	$\Delta\sigma_c \leq 56$
Pełny	Wysoki	F71 F90 F112 F140	– – – –	$56 < \Delta\sigma_c \leq 71$ $71 < \Delta\sigma_c \leq 90$ $90 < \Delta\sigma_c \leq 112$ $112 < \Delta\sigma_c \leq 140$

^{a)} Współczynnik statycznego wykorzystania k jest stosunkiem oddziaływania obliczeniowego w stanie granicznym nośności na przekrój poprzeczny elementu lub połączenia podzielonym przez obliczeniową nośność.
^{b)} Kategorie użytkowe zależą od kierunku zmian naprężeń. Warunek nie ma zastosowania do Δt .

Tablica V. Przykłady kategorii użytkowej w funkcji konstrukcji elementów mostów [17]

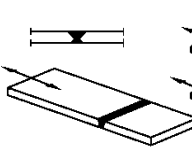
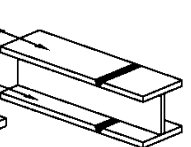
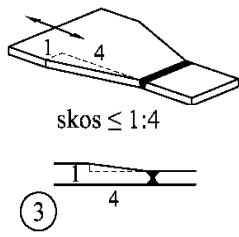
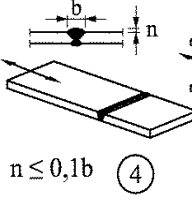
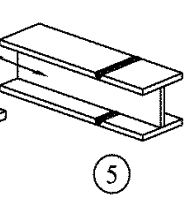
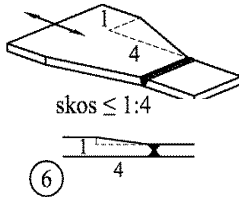
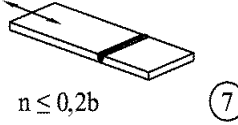
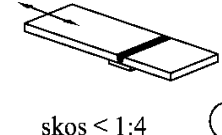
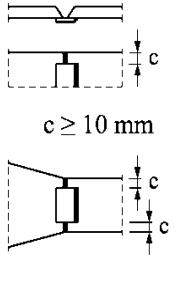
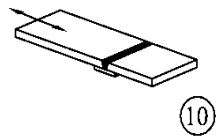
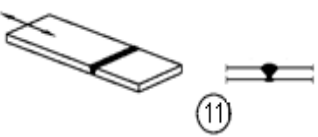
Table V. Examples of service categories for bridge members [17]

Kategoria użytkowa	Zastosowania w obiektach ^{a)}		
	kładki dla pieszych	mosty drogowe	mosty kolejowe
F56	większość zwykłych typów	wieże podporowe i słupy, dźwigary główne w przęsłach średniej i dużej rozpiętości, mosty zespolone wielodźwigarowe	dźwigary główne w przęsłach średniej i dużej rozpiętości z ciężkim obciążeniem lub betonową płytą
F71	specjalne przypadki, gdy są wrażliwe na obc. tłumem lub drgania wzbudzone wiatrem	poprzecznice, małe przęsła mostów niezespolonych	dźwigary główne przęsła z korytem balastowym lub pomostem belkowym
F90	–	stalowe pomosty z cienkimi nawierzchniami	dźwigary główne, poprzecznice i pomosty stalowe w lekkich mostach małych rozpiętości

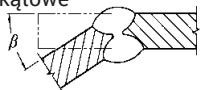
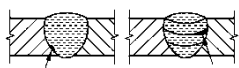
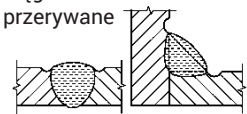
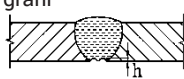
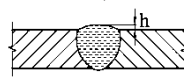
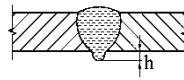
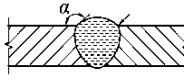
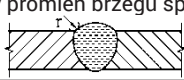
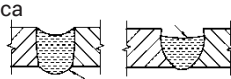
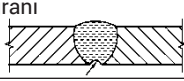
^{a)} W tablicy określono tylko zalecane wartości, zakładając klasę stali do S355.

Tablica VI. Kategorie zmęczeniowe $\Delta\sigma_c$ połączeń doczołowych w zależności od karbu [18]

Table VI. Detail categories $\Delta\sigma_c$ for butt joints according to notch [18]

$\Delta\sigma_c$	Elementy konstrukcyjne	Poprzeczne spoiny czołowe i nakładki w belkach
112	   <p>skos $\leq 1:4$</p>	<p>1 – styki poprzeczne w blachach, płaskownikach i kształtownikach walcowanych; spoiny badane w 100% bez mikropęknięć na ich powierzchni</p> <p>2 – blachownice spawane jak w 1 przed montażem</p> <p>3 – styki poprzeczne jak w 1 ze skosami $\leq 1:4$; spawanie z użyciem blach wybiegowych, a końce spoiny obrabione</p>
90	   <p>skos $\leq 1:4$</p> <p>$n \leq 0,1b$</p>	<p>4 – styki poprzeczne w blachach lub belkach wykonane w pozycji podolnej; wysokość nadlewu spoiny $\leq 10\%$ jej szerokości</p> <p>5 – styki poprzeczne belek z lub bez wykrojów</p> <p>6 – styki poprzeczne w blachach lub płaskownikach ze skosami $\leq 1:4$</p>
80	 <p>$n \leq 0,2b$</p>	<p>7 – styki poprzeczne jak w 4; wysokość nadlewu spoiny $\leq 20\%$ jej szerokości</p>
71	  <p>skos $\leq 1:4$</p> <p>$c \geq 10 \text{ mm}$</p>	<p>8 – styki poprzeczne wykonane na podkładkach; końce spoin pachwinowych podkładek $\geq 10 \text{ mm}$ od krawędzi blach</p> <p>9 – poprzeczne spoiny czołowe jak w 8 z równomiernym przejściem szerokości i grubości</p>
50	 <p>$c < 10 \text{ mm}$</p>	<p>10 – poprzeczne spoiny czołowe jak w 8, gdy końce spoin pachwinowych podkładek są $< 10 \text{ mm}$ od krawędzi blach</p>
36		<p>11 – spoiny czołowe jednostronne z pełnym przetopem, bez podkładki, sprawdzone metodami NDT</p>

Tablica VII. Wymagania do spoin czołowych narażonych na obciążenie zmęczeniowe [5]
Table VII. Requirements for butt welds subjected to fatigue action [5]

Nr [5]	Niezgodności spawalnicze wg PN-EN ISO 6520-1 [15]	t mm	Graniczne niezgodności spawalnicze dla poziomów jakości		
			C63	B90	B125
2.3	2011 – pęcherz gazowy 2012 – pęcherze równomiernie rozłożone	$\geq 0,5$	a	a	<ul style="list-style-type: none"> dla jednej warstwy $\leq 1\%$ dla wielu warstw $\leq 2\%$ $d \leq 0,1s$ max 1 mm
2.4	2013 – gniazdo pęcherzy	$\geq 0,5$	a	$\leq 3\%$ $d \leq 0,2s; \leq 0,2a$ $d \leq 2,5$ mm	$\leq 2\%$ $d \leq 0,1s$ max 0,5 mm
2.5	2014 – łańcuch pęcherzy	$\geq 0,5$	a	a	<ul style="list-style-type: none"> dla jednej warstwy $\leq 1\%$ dla wielu warstw $\leq 2\%$ $d \leq 0,1s$; max 1 mm
2.6	2015 – pęcherz podłużny 2016 – pęcherz kanalikowy	$\geq 0,5$	a	$h \leq 0,2s, \leq 0,2a$ max $h = 2$ mm max $l = 25$ mm	nie dopuszcza się
2.9	300 – wtrącenia stałe 301 – wtrącenia żużla 302 – wtrącenia topnika 303 – wtrącenia tlenków	$\geq 0,5$	a	$h \leq 0,2s; \leq 0,2a$ max $h = 2$ mm max $l = 25$ mm	nie dopuszcza się
3.1	5071 – przesunięcie liniowe płyt	$\geq 0,5$	a	$h \leq 0,1t$ max 3 mm	$h \leq 0,05t$ max 1,5 mm
	5072 – przesunięcie liniowe rur	$\geq 0,5$	a	$h \leq 0,5t$ max 1 mm	a
-	508 – przesunięcie kątowe 	$\geq 0,5$	$\beta \leq 2^\circ$	$\beta \leq 1^\circ$	$\beta \leq 1^\circ$
1.5	401 – przyklejenie 	$\geq 0,5$	a	a	a
1.7	5011 – podtopienie ciągłe 5012 – podtopienie przerywane 	> 3	a	a	nie dopuszcza się
1.8	5013 – podtopienie grani 	> 3	a	a	nie dopuszcza się
1.9	502 – nadlew (spoina czołowa) 	$\geq 0,5$	a	a	$h \leq 0,2$ mm + 0,1b
1.11	504 – wyciek 	> 3	a	a	$h \leq 0,2$ mm + 0,05b max 1 mm
1.12	505 – niewłaściwy brzeg spoiny 	$\geq 0,5$	a	a	a
-	5052 – niewłaściwy promień brzegu spoiny 	$\geq 0,5$	b	b	$r \geq 4$ mm
1.14	509 – zwis 511 – wklęsnięcie lica 	> 3	a	a	nie dopuszcza się
1.17	515 – wklęsnięcie grani 	> 3	a	a	nie dopuszcza się

a – Poszczególne wartości dla danego poziomu B i C z Tablicy 3 i 4, b – nie określa się;
 Symbole a, b, d, h, l, s, t – oznaczone w [5]

Nowe wydanie normy [5] (w języku angielskim) zastępuje od 30 kwietnia 2014 r. jej wydanie z 2009 r. Norma ta zawiera dodatkowy Załącznik C, w którym podano wymagania dotyczące spoin w stali narażonej na zmęczenie. Podano wymagania w przypadku poziomów jakości spełniających kryteria danej klasy zmęczenia (FAT) [7].

Wartość klasy zmęczenia FAT to zakres zmienności naprężeń $\Delta\sigma_c$ w odniesieniu do 2-milionowej liczby cykli N_c ustalonej przy

75-procentowej granicy tolerancji ufności średniej z 95-procentowym prawdopodobieństwem przetrwania, z uwzględnieniem odchylenia standardowego, wielkości próby oraz wpływu naprężeń własnych. W tablicy VII podano odpowiednie klasy zmęczenia FAT do spoin czołowych poziomu jakości C i B. Poziom C63 dotyczy FAT63 i niższego ($\Delta\sigma_c \leq 63$ MPa), a poziomy B90 oraz B125 dotyczą FAT90 i niższych ($63 < \Delta\sigma_c \leq 90$ MPa) oraz FAT125 i niższych ($90 < \Delta\sigma_c \leq 125$ MPa).

Podsumowanie

Wymagania spawalnicze dotyczące stalowych konstrukcji budowlanych wg PN-EN 1090 przedstawili autorzy artykułu m.in. w cytowanych 7 publikacjach drukowanych w Inżynierii i Budownictwie w latach 2011-2016. Z wyjątkiem pozycji [4], w pozostałych każdorazowo zamieszczono uwagi krytyczne do zaleceń normowych przy omawianiu wybranych zagadnień konstrukcyjnych. Według osobistych opinii, normy dotyczące projektowania budowlanego są coraz mniej przejrzyste i niezrozumiałe dla odbiorcy. Normy w sposób kompleksowy, jasny i przejrzysty powinny podawać zalecenia dla projektanta i wykonawcy. Jedynie w przypadkach skrajnych normy powinny być przedmiotem dyskusji.

Dziwi fakt omówiony w [15], że dla każdej normy Eurokodu 3 i 4 ustanowiono oddzielną grupę roboczą, która wprowadza poprawki i korekty. W sumie są to 22 grupy robocze WG, złożone z ekspertów 34 państw. Rodzi się pytanie: czy do każdej normy należy wprowadzić wytyczne krajowe jej stosowania? Może wzorem Wielkiej Brytanii, która wprowadziła zalecenia, do wykonywania konstrukcji stalowych według normy BS EN 1090-2, zamieszczone na 48 stronach formatu A4 [17]. Taka wizja wynika z zaproponowanej przez CEN ogólnej zasady redukcji postanowień krajowych w załącznikach normowych.

Wprowadzona zmiana do PN-EN 1993-1-1, zamieszczona w załączniku C, dotycząca ustalania klas jakości wykonania konstrukcji stalowej jest zgodna z merytorycznymi uwagami krytycznymi zamieszczonymi m.in. w [7,9,10,16]. Zmiana częściowo ogranicza wymóg wykonania spoin poziomu jakości B+, poprzez wykreślenie klasy EXC4 z zestawu klas zasadniczych (por. tabl. I i II). Należy żałować, że wprowadzona poprawka nie dotyczy również wykonania pomostów ortotropowych [11].

Z tablicy IV wynika, że najwyższa kategoria użytkowa F90 dotyczy elementów konstrukcyjnych w lekkich mostach małych rozpiętości. Zagrożenie zmęczeniem istnieje wtedy, kiedy występuje często znaczne wyczerpanie rezerw bezpieczeństwa na skutek udziału obciążeń eksploatacyjnych. Istotne jest, że procentowy udział sił wewnętrznych wywołanych tym obciążeniem w małych mostach jest znacznie większy niż w mostach o dużych rozpiętościach, w których zwiększony jest udział ciężaru własnego konstrukcji jako czynnika generalizującego siły wewnętrzne. Oznacza to, że pośrednio parametrem wyróżniającym stopień zagrożenia staje się rozpiętość przęsła, ale tylko poprzez większą masę rosnącą razem z rozpiętością przy tym samym typie konstrukcji. Duże konstrukcje dysponujące znaczną masą bronią się przed zmęczeniem właśnie swoją masą.

W załączniku C normy [5] podano system oceny niezgodności spawalniczych (NS) spoin narażonych na zmęczenie w powiązaniu z obliczeniami dotyczącymi mechaniki pękania. Dokładnie wprowadzone nowe wymagania dla przedmiotowych spoin w mostach stalowych omówiono w [7,8,16]. Praktycznie, wraz ze wzrostem kategorii użytkowej, dla wyższych poziomów jakości B90 i B125 zmniejszono o ok. 50% wymiary geometryczne NS (d lub h) oraz powierzchnie rzutowe niezgodności kulistych.

Według opinii autorów, wprowadzone zmiany mają znaczenie kosmetyczne i wymagają dodatkowej analizy, gdyż:

- maksymalny współczynnik koncentracji naprężeń wywołany wadami globalnymi jest stały, niezależnie od średnicy niezgodności i wynosi $2,04\sigma$ [7];
- według danych literaturowych przyjmuje się, że przy zawartości objętościowej wtrąceń stałych i pustek gazowych w spoinie poniżej 3-4% ich wpływ na wytrzymałość przy rozciąganiu złączy ze stali niskowęglowych jest pomijalny.

Literatura

- [1] A. Hobbacher: Kierunki rozwoju technik spawania i łączenia w wykonawstwie wyrobów niezawodnych i ekonomicznych, Biuletyn IS w Gliwicach, nr 2/2014.
- [2] PN-EN 1090-2+A1:2012 Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych. Część 2: Wymagania techniczne dotyczące konstrukcji stalowych.
- [3] PN-EN 1990:2004 Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji.
- [4] B. Wichtowski, T. Czajkowski: Wymagania spawalnicze dotyczące stalowych konstrukcji budowlanych według norm dotychczasowych oraz PN-EN 1090, Inżynieria i Budownictwo, nr 5/2011.
- [5] PN-EN ISO 5817:2014 Spawanie. Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązek). Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych.
- [6] PN-EN 1993-1-1:2006/A1:2014 Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [7] B. Wichtowski, J. Hołowaty: Badania złączy spawanych w mostach stalowych według wymagań norm PN-EN 1090-2 i PN-EN ISO 5817, Inżynieria i Budownictwo, nr 2/2016.
- [8] J. Hołowaty, B. Wichtowski: Testing of welded joints in steel bridges to European Standards. 8th International Symposium of Steel Bridges, Innovation & New Challenges, 2015 (SBIC-2015), Istanbul 2015.
- [9] J. Czuchryj, S. Sikora, K. Stanisławski: Ocena jakości złączy spawanych w konstrukcjach stalowych kontrolowanych radiograficznie na podstawie poziomu jakości B+ wg PN-EN 1090-2, Przegląd Spawalnictwa, nr 3/2013.
- [10] B. Wichtowski: W sprawie nowych wymagań jakościowych dotyczących połączeń spawanych w mostach stalowych, Inżynieria i Budownictwo, nr 5/2015.
- [11] B. Wichtowski: Spawanie ortotropowych płyt mostów stalowych według PN-EN 1993-2 i PN-EN 1090-2, Inżynieria i Budownictwo, nr 6/2016.
- [12] P. A. Król, A. Pogorzelski, J. Sieczkowski: Normalizacja w sektorze budowlanym - spojrzenie krytyczne, Inżynieria i Budownictwo, nr 6/2016.
- [13] B. Wichtowski: Wymagania normowe dotyczące spoin pachwinowych i rozkład naprężeń w spoinach podłużnych połączeń zakładkowych, Inżynieria i Budownictwo, nr 1/2017.
- [14] PN-EN 1993-2:2010 Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 2: Mosty stalowe.
- [15] A. Kozłowski: Kierunki zmian i przyszłość eurokodów dotyczących projektowania konstrukcji stalowych i zespolonych, Inżynieria i Budownictwo, nr 2/2016.
- [16] B. Wichtowski, J. Hołowaty: Jakość spoin czołowych w mostach w funkcji klas zmęczenia według norm europejskich i badań własnych, Inżynieria i Budownictwo, nr 9/2016.
- [17] Published document PD 6705-2:2010 Structural use of steel and aluminium. Part 2: Recommendations for the execution of steel bridges to BS EN 1090-2.
- [18] PN-EN 1993-1-9:2007 Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-9: Zmęczenie.