

# Normatywne wymagania wykonawcze i spawalnicze w konstrukcjach budowlanych oraz badania jakości spoin

Requirements for contractors and welders in building constructions and quality of welds acc. to codes

## Streszczenie

Gwarantem poprawnie wykonanej konstrukcji stalowej pod względem technicznym, tj. o wymaganej klasie, jest zakład produkcyjny o odpowiednich uprawnieniach. Potwierdzeniem tej poprawności są m.in. zadowalające wyniki badań kontrolnych spawania przeprowadzanych po upływie czasu przetrzymania. W artykule omówiono zakres badań NDT spoin dla konstrukcji poszczególnych klas wykonania, według wymagań norm: PN-B-06200, PN-EN 1090-2 i PN-78/M-69011. Przedstawiono też zakres i wyniki badań produkcyjnych spawania stalowej wieży kościelnej oraz badania kontrolne spoin w ramownicowej konstrukcji hali produkcyjno-magazynowej.

## Abstract

Technically properly made steel structure acc. to required class guarantor is a factory with proper rights. The confirmation of the correctness are satisfactory results of the weld test carried out after the retention time. The article discusses the range of NDT of welds for the construction in separate classes of performance, acc. to the requirements of PN-B-06200, PN-EN 1090-2 and PN-78/M-69011. Moreover, it presents the range and results of welded steel church tower and the tests of welds in frame construction of production and warehouse hall.

## Wstęp

Norma PN-EN 1990 [1] nakazuje każdą konstrukcję zaprojektować i wykonać w taki sposób, aby w zamierzonym okresie użytkowania jej nośność i trwałość była należąca. Norma ta podaje także orientacyjne, projektowane okresy użytkowania, które dla konstrukcji budynków monumentalnych oraz innych budowlanych konstrukcji inżynierskich, należących do 5 kategorii użytkowania, określa się na co najmniej 100 lat. Konstrukcje te zaliczamy do klasy konsekwencji CC3 i klasy niezawodności RC3. Podczas wykonania podlegają one inspekcji zaostrożonej IL3

prowadzonej przez stronę trzecią, która podejmuje odpowiednie środki zarządzania jakością, m.in. badania kontrolne w celu sprawdzenia rzeczywistego zachowania się konstrukcji lub elementów konstrukcyjnych po wykonaniu. Kontrola ta dotyczy również badań nieniszczących złączy spawanych.

Z dniem 31 marca 2010 r. normy krajowe, w tym polskie (PN), zostały wycofane i zastąpione odpowiednimi normami europejskimi (PN-EN). Nowe normy europejskie wdrażane jako normy polskie w sposób istotny zmieniły zasady projektowania, wykonywania oraz oceny jakości stalowych konstrukcji budowlanych. W zakresie wymagań dotyczących warunków wykonania i odbioru konstrukcji stalowych dotychczasową normę krajową PN-B-06200 [2] zastąpiła norma europejska PN-EN 1090-2 [3]. Według obu tych norm rodzaj i zakres wymaganych badań nieniszczących oraz kryteria ich odbioru są obligowane klasą wykonania konstrukcji. Klasy te według norm europejskich i dotychczasowych norm krajowych omówiono w pracy [4].

Dr hab. inż. Bernard Wichtowski, prof. ZUT, dr inż. Marek Wichtowski – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie.

Duża liczba nowych norm oraz częsta ich nowelizacja powodują, że w wielu wypadkach projektanci nie określają istotnych wymagań dotyczących badań NDT (*Non-Destructive Testing*) złączy spawanych, a nieraz błędnie je interpretują. Problem komplikuje dobrowolność stosowania polskich norm w budownictwie oraz brak prawnego zakazu stosowania norm wycofanych, jak to było w systemie normalizacyjnym wówczas, gdy stosowanie norm było obowiązkiem, tj. przed 1994 r.

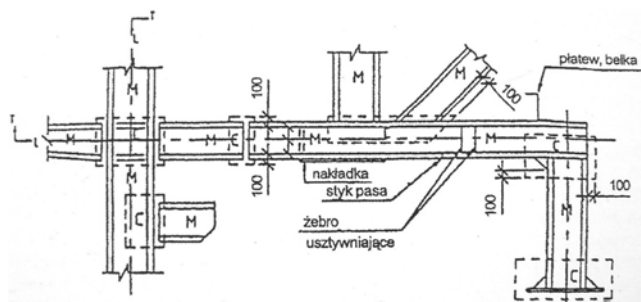
W artykule przedstawiono rodzaj i zakres wymaganych badań NDT złączy spawanych w konstrukcjach budowlanych wg wymagań obu wymienionych norm [2, 3] oraz normy mechanicznej PN-78/M-69011 [5]. Omówiono także badania *in situ* spoin w dwóch stalowych konstrukcjach, w ocenie których autorzy brali udział. Zagadnienia te mogą być przydatne dla personelu technicznego zajmującego się problemami jakości i trwałości konstrukcji stalowych, tym bardziej że obecnie nie ma ogólnej normy europejskiej dotyczącej badań konstrukcji [6].

## Badania nieniszczące połączeń spawanych i ich jakość

### Wymagania wg normy PN-B-06200

W przedmowie do normy PN-B-06200 podano, że jej zalecenia dotyczą także konstrukcji ze stali kategorii wyższej niż S355 i konstrukcji narażonych na zmęczenie [2]. Wynika to z tego, że do opracowania normy wykorzystano prenormę europejską ENV 1090-1-1996-Part 1.

Norma dzieli stalowe konstrukcje budowlane na trzy klasy o wymaganiach wykonawczych i jakościowych podanych w tabelicy I. Obowiązuje zasada: im wyższa klasa konstrukcji, tym większe wymagania organizacyjne oraz techniczne (poziomy wymagań jakości spawania). Ustalając klasę konstrukcji, określa się jednocześnie wymagany poziom jakości poszczególnych złączy oraz poziomy akceptacji badań nieniszczących.



**Rys. 1.** Strefy połączeń i elementów oraz ukierunkowania spoin; C – strefy połączeń, M – strefy elementów, - - - - - oś elementu, - - - - - granica połączenia elementu, T – spoina poprzeczna do osi elementu (w dowolnym kierunku), L – spoina podłużna (równoległa do osi elementu)

**Fig. 1.** Areas of joints, elements and welds orientation: C – joints areas, M – elements areas, - - - - - element axis, - - - - - element joint board, T – perpendicular to the element axis weld (no-oriented), L – longitudinal weld (parallel to the element symmetrical axis)

Każde połączenie spawane powinno podlegać kontroli – co najmniej badaniom wizualnym. Według wymagań normy rodzaj i zakres badań NDT w stosunku do określonych elementów i połączeń, w zależności od klasy konstrukcji, podano w wierszu 7 tabelicy I. Określony tam rodzaj i zakres badań spoin dla konstrukcji klasy 1 należy przyjmować według rysunku 1 i tabelicy II, w zależności od gatunku stali, z której konstrukcja jest wykonana. Podane tam wartości bez nawiasów dotyczą konstrukcji wykonywanych ze stali niestopowej kategorii nie większej niż S355, a wartości w nawiasach – konstrukcji wykonywanych ze stali drobnoziarnistej kategorii S420 i S460.

### Wymagania wg PN-EN 1090-2

Normę można stosować do konstrukcji różnych typów (np. budynków, mostów, elementów pełnościennej i kratowych) obciążonych statycznie, jak również podlegających zjawiskom zmęczeniowym oraz działaniom sejsmicznym [3]. Norma wprowadza cztery klasy wykonania konstrukcji, oznaczone EXC1÷EXC4.

**Tabela I.** Podstawowe wymagania wykonawcze i spawalnicze dla poszczególnych klas konstrukcji  
**Table I.** Basic manufacturing and welding requirements in separate construction classes

Kryterium wymagań	Klasa konstrukcji		
	3	2	1
Wymagania wykonawcze konstrukcji wg PN-B-06200 [2]	obc. statyczne, stal kategorii > S235, grubość $t \leq 30$	obc. statyczne i dynamiczne stal kategorii > S355, masa > 20 t	obc. statyczne i dynamiczne stal kategorii $\leq S355$ , klasa konsekwencji CC3 – $K_{F1} > 1$
Poziom wymagań jakości wg PN-EN ISO 3834 [7]	podstawowe (część 4 poz. [6])	standardowe (część 3 poz. [6])	pełne (część 2 poz. [6])
Spoiny szcpepne wg PN-B-06200 [2]	$l \geq 50$ mm $l \geq 4$ t, gdy $t \leq 12$ mm	jak dla klasy 3	jak dla klasy 3
Spoiny czołowe i pachwinowe	wg PN-90/B-03200 [8]	jak dla klasy 3	jak dla klasy 3
Poziom jakości od NS wg PN-EN ISO 5817 [9]	wymagania łagodne	wymagania średnie	wymagania ostre
Poziom akceptacji badań NDT wg EN 1435 [10] i PN-EN 1714 [11]	badania RT-3 badania UT(niezalecane)	badania RT-2 badania UT-3	badania RT-1 badania UT-2
Zakres badań spoin wg PN-B-06200 [2]	tylko VT	5% $\Sigma$ styków doczołowych 1% $\Sigma$ L spoin pachwinowych	wg rys. 1 i tabl. II

Wyboru odpowiedniej klasy EXC dokonuje się wg zaleceń podanych w Załączniku B normy, które omówiono w opracowaniu [4]. Obowiązuje tu zasada: im wyższa klasa wykonania konstrukcji, tym większe są wymagania systemu oceny jakości. Analogiczna zasada obowiązywała również dotychczas, z tym że w PN-B-06200 [2] najwyższą klasą jakości była klasa 1, a w eurokodzie jest to EXC4, podczas gdy EXC1 jest klasą najniższą. Klasy wykonania konstrukcji mogą dotyczyć całej konstrukcji albo tylko jej części lub detalu. Elementy konstrukcyjne wchodzące w skład całości obiektu mogą być zaliczone do różnych klas (np. elementy szkieletu obudowy do klasy EXC1, a elementy szkieletu nośnego do klasy EXC2). Jeżeli w projekcie nie została określona klasa wykonania konstrukcji, to przyjmuje się klasę EXC2.

Wykaz wymagań odnoszących się do poszczególnych klas wykonania podany jest w części trzeciej Załącznika A normy PN-EN 1090-2 [3]. Podane tam zalecenia dotyczą: specyfikacji i dokumentacji wykonawczej, produktów składowych, prac przygotowawczych,

spawania, prostowania oraz prób odbiorczych, badań ostatecznych i prac naprawczych. Wybiórczy wykaz wymagań analogicznych jak w tabelicy I, dotyczących wyłącznie spawania i badań NDT spoin dla poszczególnych klas wykonania, podano w tabelicy III.

PN-EN 1090-2, podobnie jak norma PN-B-06200, podaje zakres nieniszczących badań spoin w konstrukcjach poszczególnych klas wykonania oraz określa wymagane poziomy ich jakości wg PN-EN ISO 5817 (tabl. III) [9]. Niezależnie od klasy konstrukcji wszystkie spoiny na całej długości powinny być poddane po wykonaniu kontroli wizualnej (VT), a w razie wykrycia niezgodności powierzchniowych – dodatkowym badaniom penetracyjnym (PT) lub magnetyczno-proszkowym (MT). Rodzaj i zakres wymaganych uzupełniających badań NDT w stosunku do określonych elementów i połączeń oraz kryteria ich odbioru powinny być określone w dokumentacji projektowej i wzorowane na zaleceniach zamieszczonych w tabelicy IV z normy [3].

**Tablica II.** Zalecany rodzaj i zakres badań NDT spoin w konstrukcjach klasy 1 ze stali kategorii ≤ S355 oraz kategorii S420 i S460

**Table II.** Recommended type and range of weld NDT testing in 1st construction class made by steel with ≤ S355, S420 and S460 category

Rodzaj złączy			Badania VT	Badanie nieniszczące	
				spoiny warsztatowe	spoiny montażowe
Strefy połączeń – C (rys. 1)			100% (100%)	po pięć złączy analogicznych pozostałe, po jednym z pięciu każdego typu (20%) - L każdego złącza	100% (100%)
Strefy elementów – M (rys. 1)	elementy główne	spoiny czołowe rozciągane	100% (100%)	jak wyżej (100%)	100% (100%)
		spoiny czołowe ściskane	100% (100%)	jak wyżej (10%) - L każdej spoiny	100% (20%) - L każdej spoiny
		poprzeczne pachwinowe na zakończeniu nakładek	100% (100%)	jak wyżej (20%) - L każdej spoiny	100% (20%) - L każdej spoiny
		spoiny podłużne	100% (100%)	0,5 m na każdym 10 m złączy + jedno na cztery końce spoin (10%) - L każdej spoiny	podwójna liczba styków warsztatowych (20%) - L każdej spoiny
	spoiny drugorzędne (np. mocowanie płatwi, żeber itp.)		– (100%)	1 na 20 złączy (1 na 20 złączy)	

**Tablica III.** Podstawowe wymagania wykonawcze i spawalnicze dla poszczególnych klas wykonania konstrukcji EXC

**Table III.** Basic manufacturing and welding requirements for separate EXC classes

Kryteria wymagań	Klasa wykonania konstrukcji			
	EXC 1	EXC 2	EXC 3	EXC 4
Wymagania wykonawcze konstrukcji wg PN-EN 1990 [1] i PN-EN 1090-2 [3]	obc. raczej statyczne, stal kategorii ≤ S355, niskie zagrożenie życia ludzkiego	obc. statyczne i zmęczeniowe, stal kategorii > S355, przeciętne zagrożenie życia ludzkiego	obc. zmęczeniowe lub sejsmiczne, stal kategorii > S355, wysokie zagrożenie życia ludzkiego	obc. zmęczeniowe lub sejsmiczne, stal kategorii > S355, ekstremalne konsekwencje zniszczenia
Poziom wymagań jakości spawania wg PN-EN ISO 3834 [7]	podstawowe (część 4 poz. [7])	standardowe (część 3 poz. [7])	pełne (część 2 poz. [7])	pełne (część 2 poz. [7])
Spoiny szcpe wg PN - EN 1090-2 [3]	L ≥ 50 mm L ≥ 4 t <sub>max</sub>	jak dla EXC1	jak dla EXC1	jak dla EXC1
Spoiny czołowe i pachwinowe	wg PN-EN 1993-1-8 [12] i PN-EN 1708-2 [13]		jak dla EXC1	jak dla EXC1
Poziom jakości od NS wg PN-EN ISO 5817 [9]	D (wymagania łagodne)	C (wymagania średnie)	B (wymagania ostre)	B+ (wymagania ostre)
Poziom akceptacji badań NDT wg EN 1435 [10] i PN-EN 1714 [11]	badania RT-3 badania UT – niezalecane	badania RT-2 badania UT-3	badania RT-1 badania UT-2	badania RT-1 badania UT-2
Zakres badań spoin wg PN-EN 1090-2 [3]	tylko VT	NDT wg tabl. IV	NDT wg tabl. IV	NDT wg tabl. IV

Łatwo zauważyć, że przedstawiony zakres uzupełniających badań NDT spoin jest szerszy niż wg normy PN-B-06200, zestawiony w tablicy II. Dotyczy to zwłaszcza rozszerzonego zakresu badań dla klasy wykonania konstrukcji EXC4, dla której wprowadzono również nowy poziom jakości spoin B+ (tabl. V). W celu pełnego zobrazowania dodatkowych wymagań związanych z poziomem jakości B+, w tablicy V oprócz danych z norm zapisanych bez nawiasów, podano

Tablica IV. Zakres dodatkowych badań NDT

Table IV. The range of additional NDT testing

Rodzaj spoin	Spoiny warsztatowe lub montażowe		
	EXC2	EXC3	EXC4
Poprzeczne rozciągane spoiny czołowe z pełnym i niepełnym przetopem: $U \geq 0,5$ $U < 0,5$	10% 0%	20% 10%	100% 50%
Poprzeczne spoiny czołowe z pełnym i niepełnym przetopem: w złączach krzyżowych w złączach T	10% 5%	20% 10%	100% 50%
Poprzeczne spoiny pachwinowe rozciągane lub ściskane: gdy $a > 12$ mm lub $t > 20$ mm gdy $a \leq 12$ mm i $t \leq 20$ mm	5% 0%	10% 5%	20% 10%
Spoiny podłużne i spoiny do usztywnień (żeber)	0%	5%	10%

UWAGA 1. Spoinami podłużnymi są spoiny równoległe do osi elementów. Wszystkie pozostałe spoiny są traktowane jako poprzeczne.  
UWAGA 2.  $U$  – stopień wykorzystania nośności spoiny przy oddziaływaniach statycznych.  $U = E_d/R_d$ , gdzie  $E_d$  – największy efekt oddziaływania,  $R_d$  – nośność spoiny  
UWAGA 3. Oznaczenia  $a$  i  $t$  odnoszą się do grubości spoiny najcieńszej z łączonych części.

Tablica V. Dodatkowe wymagania związane z poziomem jakości B+ oraz wymagania dla poziomu jakości B (w nawiasach)

Table V. Additional requirements for B+ quality level and requirements for B quality level (in bracket)

Oznaczenie niezgodności		Ograniczenie niezgodności
Podtopienie – 5011, 5012		niedopuszczalne ( $h \leq 0,05 t$ , max 0,5 mm)
Pęcherze i pory od 2011 do 2014	spoiny czołowe	$d \leq 0,1 s$ , max 2 mm ( $d \leq 0,2 s$ , max 3 mm)
	spoiny pachwinowe	$d \leq 0,1 a$ , max 2 mm ( $d \leq 0,2 a$ , max 3 mm)
Wtrącenia stałe – 300	spoiny czołowe	$h \leq 0,1 s$ , max 1 mm $l \leq s$ , max 10 mm ( $h \leq 0,2 s$ , max 2 mm) ( $l \leq s$ , max 25 mm)
	spoiny pachwinowe	$h \leq 0,1 a$ , max 1 mm $l \leq a$ , max 10 mm ( $h \leq 0,2 a$ , max 2 mm) ( $l \leq a$ , 25 mm)
Przesunięcie brzegów – 507		$h \leq 0,05 t$ , max 2 mm ( $h \leq 0,1 t$ , max 3 mm)
Wklęsnięcie grani – 515		niedopuszczalne (NS krótkie: $h \leq 0,05t$ , max 0,5 mm)

również charakterystykę niezgodności spawalniczych (NS) dotyczących poziomu jakości B – wartości w nawiasach wg normy PN-EN ISO 5817 [9].

Należy zauważyć, że tablica V jest częścią normowej tablicy 17 z normy [3] przedstawiającej dodatkowe wymagania związane z poziomem jakości B+. W tablicy V nie zamieszczono wymagań dodatkowych dotyczących spoin w mostowych płytach ortotropowych.

## Wymagania wg normy PN-78/M-69011

Norma PN-B-06200 [2] dotyczy również konstrukcji narażonych na zmęczenie, lecz nieujętych w odrębnych normach przedmiotowych. Dlatego nie podano w niej zaleceń niewycofanej do tej pory przez PKN normy PN-78/M-69011 [5], która dotyczy złączy stalowych konstrukcji spawanych z wyjątkiem naczyń ciśnieniowych i konstrukcji okrętowych. W konstrukcjach budowlanych wg tej normy oblicza się belki podsuwnicowe i inne konstrukcje wsporcze dla urządzeń dźwigowych. Tok obliczeń jest bardziej złożony niż wg normy [8], ale lepiej odzwierciedla warunki pracy konstrukcji [14].

Norma [5] rozróżnia 5 klas złączy spawanych w zależności od wytrzymałości zmęczeniowej  $R_z$  podanej w tablicy VI, w której dodatkowo, w nawiasach, podano kategorie zmęczeniowe  $\Delta\sigma_c$  odpowiadające wytrzymałości zmęczeniowej normatywnej dla liczby cykli  $N = 2 \times 10^6$  wg PN-EN 1993-1-9 [15].

Zasady kształtowania spawanych połączeń elementów poddanych obciążeniom zmiennym wynikają z kategorii zmęczeniowej łączonych elementów zestawionych w normie [15]. Podobnie jak karby konstrukcyjne, również wszelkie nieciągłości wykonawcze obniżają wytrzymałość zmęczeniową połączeń. Dlatego

Tablica VI. Klasy złączy i odpowiadająca im wartość wytrzymałości zmęczeniowej  $R_z$  [5] oraz kategorii zmęczeniowej  $\Delta\sigma_c$  [15]

Table VI. Welds classes with adequate fatigue strength  $R_z$  values [5] and the fatigue category  $\Delta\sigma_c$  [15]

Klasa złącza <sup>1)</sup>	Wytrzymałość zmęczeniowa $R_z$ [MPa] przy $r = -1$ i $N = 2 \times 10^6$ cykli oraz kategoria zmęczeniowa ( $\Delta\sigma_c$ ) MPa					
	spoiny czołowe			spoiny pachwinowe		
	przy naprężeniach					
	rozciągających i ściskających			ścinających		
	$R_z$	( $\Delta\sigma_c$ ) <sup>2)</sup> - tabl. 8.3	$R_z$	( $\Delta\sigma_c$ ) <sup>3)</sup>	$R_z$	( $\Delta\sigma_c$ ) <sup>3)</sup>
A	84	(90)	50	(71)	–	100
B	75	(80)	45	(71) 50 < L ≤ 80	53	od (71) do (56)
C	63	(63)	38	(63) 80 < L ≤ 100	44	
D	45	(50)	27	(56) L > 100	32	
E	–	–	–	–	19	–

<sup>1)</sup> Klasa złącza A – spoiny zlicowane z powierzchnią łączonych części  
<sup>2)</sup> Wartości minimalne w zależności od karbu i wykonania  
<sup>3)</sup> Jak w <sup>2)</sup> wg tabl. 8.2 i 8.4 [15]



**Tablica VII.** Długość odcinków badanych w odniesieniu do długości złączy spawanych w poszczególnych klasach  
**Table VII.** The testing length compared with weld length in separate quality classes

Klasa złącza	Długość odcinków badanych złączy, % <sup>1)</sup>				
	spoiny czołowe			spoiny pachwinowe	
	poziom jakości wg PN-EN ISO 5817 [9] <sup>2)</sup>	kontrola NDT	sprawdzanie powierzchni i wymiarów	kontrola NDT	sprawdzanie powierzchni i wymiarów
A	B+	100	100	-	-
B	B	50		100	100
C	C	25	50	50	50
D	D	10	25	25	25
E		-		10	25

<sup>1)</sup> Dla złączy wszystkich klas wymagana jest 100% kontrola wizualna – VT  
<sup>2)</sup> Norma PN-78/M-69011 podaje klasy wadliwości wg nieaktualnej normy PN-74/M-69772, autorzy podali poziomy jakości wg PN-EN ISO 5817

połączenia spawane w konstrukcjach narażonych na zmęczenie powinny być wykonane szczególnie starannie. Ustalając klasę złącza, wg tablicy VI, określa się jednocześnie wymagania technologiczno-wykonawcze (odstęp między łączonymi elementami, spoiny szepne, płytki dobiegowe i wybiegowe, podpawanie, odchylki wymiarów spoin), kryteria akceptacji oraz zakres kontroli po spawaniu (tabl. VII).

## Jakość złączy spawanych poddanych badaniom NDT

Do niedawna złącza wykonywane metodami spawalniczymi uważano za najsłabsze miejsca w konstrukcjach stalowych [14,16]. Przyjmowano, że mają one nie tylko obniżoną w stosunku do materiału rodzimego wytrzymałość statyczną i dynamiczną (udarową i zmęczeniową), ale też, że wykazują skłonność do pęknięć eksploatacyjnych [17]. W ostatnich 20 latach dokonał się jednak ogromny postęp w zakresie materiałów i technik spawalniczych, który wpłynął na właściwości złączy. Osiągnięty został poziom technologiczny, przy którym złącze nie powinno być słabsze – w szerokim pojęciu – od materiału rodzimego. O jakości wyboru decyduje cały proces tworzenia konstrukcji, począwszy od dokumentacji projektowej i wykonawczej, przez zastosowanie właściwych materiałów, przygotowanie produkcji, technologie wytwarzania, wreszcie nadzór i kontrolę jakości.

Proces spawania elementów konstrukcji najczęściej różni się od optymalnych warunków i/lub parametrów określonych w technologii spawania oraz w wymaganiach norm. Różnice te mają decydujący wpływ na powstawanie niezgodności spawalniczych, które ujawniają kontrolne badania NDT spoin. Zagadnienia jakości spoin w stalowych konstrukcjach budowlanych przedstawiono na przykładzie dwóch obiektów stalowych, których ocenę stanu technicznego wykonali autorzy artykułu. Zakres tej oceny, poza zagadnieniami *stricto* budowlanymi, dotyczył również badań wizualnych spoin konstrukcyjnych oraz ustosunkowania się do wyników ultradźwiękowych badań produkcyjnych spoin czołowych.

## Stalowa konstrukcja zwieńczenia wieży kościoła św. Jakuba Apostoła w Szczecinie

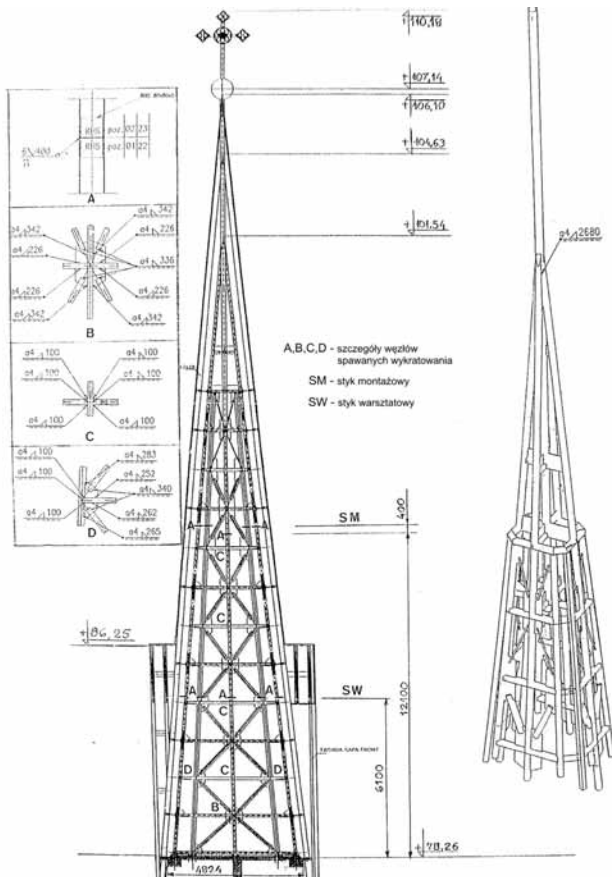
Konstrukcję hełmu wieżowego kościoła przedstawiono w opracowaniu [18]. Stalową konstrukcję jego zwieńczenia stanowi przestrzenna kratownicowa wieża wysokości 27,84 m w postaci ośmiobocznego ostrosłupa o zróżnicowanej szerokości ścian (rys. 2). Jest to przestrzenny układ czterech wzajemnie stężonych kratownic płaskich. Dodatkowo w górnej strefie wieży przyspawana jest rura średnicy 159x8 mm długości 12 m. Łączna wysokość wieży z krzyżem wynosi 31,92 m.

Rurowe pręty krawężnikowe wieży mają dwa spawane styki doczołowe – styk warsztatowy na wysokości 6,1 m (rys. 3) oraz styk montażowy na zróżnicowanych wysokościach 12,1 i 12,5 m. Stalową konstrukcję kratową zaprojektowano z rur stalowych bez szwu RHS 100x100x8 mm w części dolnej i RHS 100x100x6 mm w części górnej ze stali S235JRH, a blachy węzłowe i pierścienie podporowy ze stali S235JRG2. Maksymalne obliczeniowe wartości naprężeń w spoinach czołowych wynoszą:  $\sigma = -59$  i  $+50$  MPa, a w spoinach pachwinowych  $\tau = 117$  MPa.

Zgodnie z projektem technicznym przyjęto:

- klasę konstrukcji 2 wg PN-87/M-69008,
- metodę spawania 136, wg EN ISO 4063 – spawanie łukowe w osłonie gazu aktywnego drutem proszkowym,
- spoiny czołowe  $t = 6,0$  i  $8,0$  mm badane ultradźwiękowo (UT) na 100% ich długości wg PN-EN 1714:2002,
- spoiny pachwinowe  $a = 4$  mm badane penetracyjnie (PT) na 10% ich długości zgodnie z PN-EN 1289:2000,
- badanie wizualne (VT) w 100% wg PN-EN 970:1999,
- poziom jakości złączy C wg PN-EN ISO 5817:2007,
- poziom akceptacji badania UT: 3 wg PN-EN 1712:2001 (poziom badania A).

Badania NDT spoin w konstrukcji wieży wykonał zakład specjalistyczny. Według protokołów badań UT spoiny czołowe ( $t = 8$  mm) styku warsztatowego (S) badano przy jednostronnym prowadzeniu głowic wzdłuż lica spoiny, a spoiny czołowe ( $t = 6$  mm) wzdłuż styku montażowego (SM) przy



Rys. 2. Widok wieży kościoła i szczegóły złączy spawanych  
Fig. 2. The view of church tower with welds description



Rys. 3. Spoiny czołowe styku warsztatowego na wysokości 6,1 m  
Fig. 3. Workshop contact butt welds at the high of 6.1 m



Rys. 4. Spoiny czołowe prętów krawężnikowych styku montażowego  
Fig. 4. Assembly edge-rod butt welds

dwustronnym prowadzeniu głowic MWB 70-4. Ostatecznie badaniom UT poddano spoiny o łącznej długości  $3 \times 12 \times 400 = 14\,400$  mm. Na 3 słupach w spoinach styku SW oraz na 2 słupach w styku SM stwierdzono niepełny przetop grani na wysokości 2÷4 mm. Takie niezgodności spawalnicze (4021 wg PN-EN ISO 6520-1:2009) stwierdzono na odcinku o łącznej długości 470 mm. Wadliwe odcinki spoin wycięto i założono nowe spoiny poprawnej jakości.

Autorzy podczas badań własnych poddali oględzinom wszystkie złącza spawane oraz wykonali pomiary grubości i długości poszczególnych spoin pachwinowych (rys. 2÷4). Parametry spoin były zgodne z projektem i wymaganiami norm; ich grubość a wynosiła  $4,0 \div 4,5$  mm, a długość była większa od 100 mm [8]. Poprawne były lica spoin, bez żadnych podtopień, ani porowatości. Poziom jakości tych spoin, zgodnie z normą [9], oszacowano jako B.

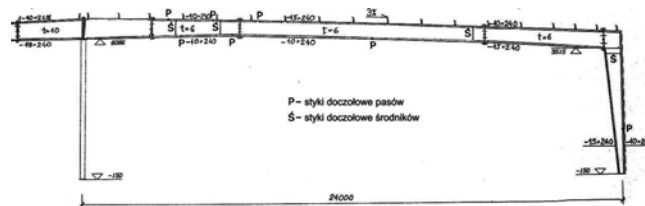
## Stalowa hala produkcyjno-magazynowa

Poprzeczny układ konstrukcyjny hali przedstawiono na rysunku 5. Jest to hala dwunawowa o rozpiętości  $2 \times 24 = 48$  m ze słupami przegubowo połączonymi w fundamencie. Rygle oraz słupy skrajne to blachownice spawane ze stali S355J2G3, a słupek środkowy zaprojektowano z rury o średnicy 219,1/6,3 mm ze stali S235JRH. Elementy montażowe rygli mają zmienną długość (3,1÷10,8 m) i zmienną wysokość średnika, od 900 mm w kalenicy i 800 mm przy słupach skrajnych do 700 mm w części środkowej przęsła. Pasy rygli i słupów skrajnych, o szerokości 240 mm i zmiennej grubości (10÷18 mm), połączone są ze średnikiem spoinami pachwinowymi  $a = 2,5$  mm oraz  $a = 4$  mm na odcinku przykalenicowym długości 6,2 m (rys. 5). Warsztatowe spawane styki doczołowe średników rygli i słupów mają grubość  $t_w = 6$  mm, natomiast wszystkie styki montażowe elementów ram zaprojektowano jako połączenia sprężone śrubami kl. 10.9 (rys. 6 i 7). Zgodnie z obliczeniami statycznymi maksymalne wykorzystanie nośności w elementach ramownicy wynosi:

- w średniku słupów skrajnych – 92,2%,
- w ryglowych elementach przystępowych – 85 i 93%,
- w elementach środkowych rygli – 96,3÷105,5%.

W projekcie technicznym obiektu przyjęto:

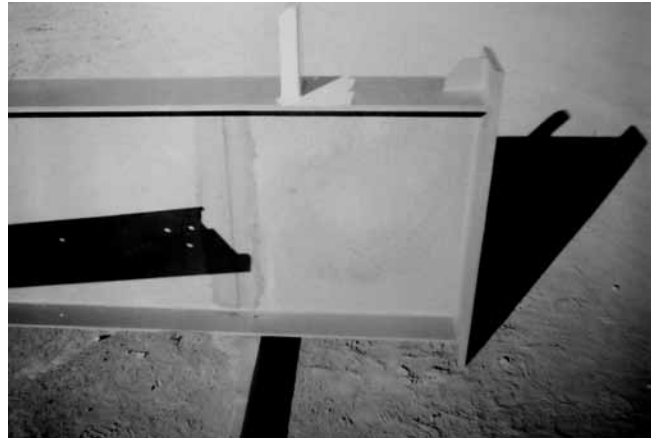
- klasę konstrukcji – 2,
- metodę spawania – 136,
- poziom jakości złączy – C (wymagania średnie).



Rys. 5. Schemat konstrukcyjny przęsła ramownicy hali  
Fig. 5. Construction scheme of severly bay of hall frame



**Rys. 6.** Widok ogólny stalowej konstrukcji hali produkcyjnej  
**Fig. 6.** The main view of hall steel construction



**Rys. 8.** Złącze środnika Ś w elemencie środkowym rygla ramy  
**Fig. 8.** The web of an I-beam (S) in the middle frame spandrel beam



**Rys. 7.** Niezmontowane dwa przęsła hali, w których spoiny badano metodą UT  
**Fig. 7.** Two not-assembled severy bays of hall in which the welds using UT method were tested



**Rys. 9.** Złącze pasowe P w słupie skrajnym hali  
**Fig. 9.** The assembly joint (P) in hall pylon

Ze względu na wysoki poziom naprężeń w spoinach, postanowiono przeprowadzić dodatkowe badania kontrolne. Badaniami wizualnymi objęto wszystkie spoiny w elementach dwóch niezmontowanych przęseł ram głównych hali (rys. 7), natomiast badaniami ultradźwiękowymi objęto 16 styków doczołowych w tych elementach, o łącznej długości 6900 mm. Badania ultradźwiękowe dotyczyły spoin czołowych (rys. 5):

- w 2 podporowych słupach skrajnych – 2 złączy środników Ś i 2 złączy pasowych P,
- w 3 elementach montażowych rygli – 4 złączy środników Ś i 8 złączy pasowych P.

Norma [11] dotyczy badań UT złączy spawanych z pełnym przetopem o grubości nie mniejszej niż 8 mm. Według PN-EN 12062:2000 metoda UT przy grubości badanego materiału  $t < 8$  mm jest stosowana w ograniczonym zakresie, dlatego badanie UT złączy środników o  $t = 6$  mm prowadzono dwustronnie. Taką technologię zastosowano przy wszystkich 16 badanych złączach doczołowych.

Badania spoin, razem z autorami artykułu, przeprowadził ten sam zakład specjalistyczny, który badał spoiny w omówionej konstrukcji wieży kościoła. Badania wizualne (VT) spoin pachwinowych i czołowych nie wykazały dyskwalifikujących zewnętrznych niezgodności spawalniczych. Lica spoin wykonano poprawnie, bez podtopień i porowatości (rys. 8 i 9). Również pomierzona grubość spoin pachwinowych była nie mniejsza od grubości projektowanej  $a = 2,5$  mm. Należy jednak zauważyć, że grubość ta przy pasach o grubości  $t = 15$  mm nie spełnia wymagań normy, gdyż jest mniejsza od  $a = 0,2 t_{\max} = 3$  mm [8].

Badania ultradźwiękowe (UT) wykazały bardzo dobrą jakość wszystkich badanych spoin czołowych w 16 stykach. Podczas badań stwierdzono jedynie pojedyncze wady w postaci pustek gazowych 201 i wtrąceń żużla 301. Nie stwierdzono wad ciągłych w postaci przyklejenia i braku przetopu 400. Poziom jakości tych spoin można określić jako B [9]. Ze względu na wyrywkowy charakter badań przyjęto ostatecznie obniżony poziom jakości C, zgodny z przyjętym w projekcie technicznym konstrukcji hali.



## Podsumowanie

Duża liczba norm, ich częsta nowelizacja oraz dobrowolność stosowania jest powodem zróżnicowanej interpretacji wymagań dotyczących projektowania konstrukcyjnego, wykonania montażu oraz kontrolowania jakości produkcji. Harmonizację przepisów w procesach inwestycyjnych i kontroli jakości produkcji budowlanej stanowi pakiet eurokodów wdrażanych jako normy polskie. Od listopada 2009 r. normę PN-B-06200, dotyczącą wykonania i odbioru stalowych konstrukcji, zastąpiła polska wersja normy PN-EN 1090-2. Nowa euronorma wprowadziła zmiany w klasach wykonywania konstrukcji i w zagadnieniach technologicznych oraz spawalniczych, jak również w badaniach NDT spoin (tabl. III i IV). Norma ta wprowadziła nową klasę konstrukcji o zaokrąglonych wymaganiach wykonawczych i podwyższonym poziomie jakości spoin B+ (tabl. V). Szkoda, że nie zastąpiła również wymagań normy PN-78/M-69011 [5].

Kryteria akceptacji niezgodności spawalniczych oraz zakresy badań NDT spoin zależą od klasy wykonania konstrukcji. Zdaniem autorów artykułu duży wpływ na jakość połączeń mają procesy ich spawania. Według przybliżonych danych literaturowych, w Polsce udział spawania proszkowego (114, 136, 137) nie przekracza 3%, a spawanie elektrodami otulonymi (111) ocenia się na ok. 20%, podczas gdy dla Europy Zachodniej wynosi ono odpowiednio 10 i 15%.

Badania kontrolne węzłów spawanych stalowej konstrukcji wieży kościoła miały na celu sprawdzenie zgodności ich charakterystyk produkcyjnych. Wyrywkowe badania UT spoin czołowych w konstrukcji nośnej hali ramownicowej wykonano w celu bezpośredniego ustalenia nośności granicznej konstrukcji i potwierdzenia ich jakości określonej przez producenta. Tego typu badania są zaliczane do środków zarządzania jakością i zalecane przez PN-EN 1990 [1].

## Literatura

- [1] PN-EN 1990:2004 Eurokod – Podstawy projektowania konstrukcji.
- [2] PN-B-06200:2002 Konstrukcje stalowe budowlane – Warunki wykonania i odbioru – Wymagania podstawowe.
- [3] PN-EN 1090-2:2009 Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych – Część 2: Wymagania techniczne dotyczące konstrukcji stalowych.
- [4] Wichtowski B., Czajkowski T.: Klasy wykonania spawanych stalowych konstrukcji budowlanych według norm europejskich i dotychczasowych norm krajowych. Materiały XVI Naukowo-Technicznej Konferencji Spawalniczej „Postęp, innowacja i wymagania jakościowe procesów spajania”. Międzydroje 2010.
- [5] PN-78/M-69011 Spawalnictwo – Złącza spawane w konstrukcjach stalowych – Podział i wymagania.
- [6] PN-EN 1090-1:2010 Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych – Część 1: Zasady oceny zgodności elementów konstrukcyjnych.
- [7] PN-EN ISO 3834:2007 Wymagania jakości dotyczące spawania materiałów metalowych (Część 1: Kryteria wyboru odpowiedniego poziomu wymagań jakości; Część 2: Pełne wymagania jakości; Część 3: Standardowe wymagania jakości; Część 4: Podstawowe wymagania jakości).
- [8] PN-90/B-03200 Konstrukcje stalowe – Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [9] PN-EN ISO 5817:2009 Spawania – Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązką) – Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych.
- [10] EN 1435:1997 Non-destructive examination of welds. Radiographic examination of welded joints.
- [11] PN-EN 1714:2002 Badania nieniszczące złączy spawanych – Badania ultradźwiękowe złączy spawanych.
- [12] PN-EN 1993-1-8:2006 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-8: Projektowanie węzłów.
- [13] PN-EN 1708-2:2004 Spawanie – Podstawowe rozwiązania stalowych połączeń spawanych – Część 2: Elementy nie obciążone ciśnieniem wewnętrznym.
- [14] Augustyn J.: Połączenia spawane i zgrzewane. Arkady, Warszawa 1987.
- [15] PN-EN 1993-1-9:2007 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-9: Zmęczenie.
- [16] Senkara J.: Czy złącze musi być najslabszym miejscem konstrukcji? Biuletyn Instytutu Spawalnictwa 5/2003.
- [17] Wichtowski B.: Wytrzymałość zmęczeniowa spawanych złączy doczołowych w stalowych mostach kolejowych. PN PS nr 527. Wydawnictwo PS, Szczecin 2002.
- [18] Nowaczyk S., Płotkowiak M.: Nowy hełm wieży kościoła pod wezwaniem św. Jakuba Apostoła w Szczecinie. Inżynieria i Budownictwo 5/2009.