

# Kwalifikowanie technologii spawania prętów do zbrojenia betonu

## Reinforced concrete bars welding technology qualifying

### Streszczenie

W artykule przedstawiono kryterium podziału prętów do zbrojenia betonu oraz klasy i gatunki prętów zbrojeniowych, omówiono zagadnienia związane z technologią wytwarzania oraz ich spawalnością. W części badawczej opisano procedurę kwalifikowania technologii spawania prętów na podstawie aktualnych norm.

### Abstract

The article presents the criterion for the allocation of reinforced concrete bars, classes and grades of reinforcing bars, discusses issues related to manufacturing technology and their weldability. The research part describes the procedure for qualifying of welding of reinforced concrete bars based on current standards.

### Wstęp

Do kwalifikowania technologii spawania prętów zbrojonych do zbrojenia betonu wykorzystuje się badania nieniszczące i niszczące, takie jak: badania wizualne, makroskopowe, penetracyjne, badania na rozciąganie oraz twardości. Nie ma jednej normy, która w pełni opisywałaby proces kwalifikowania technologii spawania prętów zbrojonych. Procedura kwalifikowania opisana jest w dwóch odrębnych normach: EN ISO 17660-1:2008 *Spawanie – Spawanie/zgrzewanie stali zbrojeniowej – Część 1: Złącza spawane/zgrzewane nośne* oraz normę EN ISO 15614-1:2008 *Specyfikacja i kwalifikowanie technologii spawania metali – Badania technologii spawania – Część 1: Spawanie łukowe i gazowe stali oraz spawanie łukowe niklu i stopów niklu*. Trzeba jednak zaznaczyć, że każda z tych norm opisuje tylko część zaleceń. Bazowanie na jednej z nich nie zapewnia pełnego kwalifikowania technologii spawania prętów zbrojonych.

Norma EN ISO 17660-1:2008 zawiera zalecenia dotyczące badań na rozciąganie i zginanie, a EN ISO 15614-1:2008 – badań wizualnych, badań penetracyjnych, badaniu twardości. Opracowanie jednej kompletnej normy, która opisywałaby proces kwalifikowania spawania prętów zbrojonych, byłoby ułatwieniem omawianej procedury.

**Dr inż. Ryszard Pakos** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie.

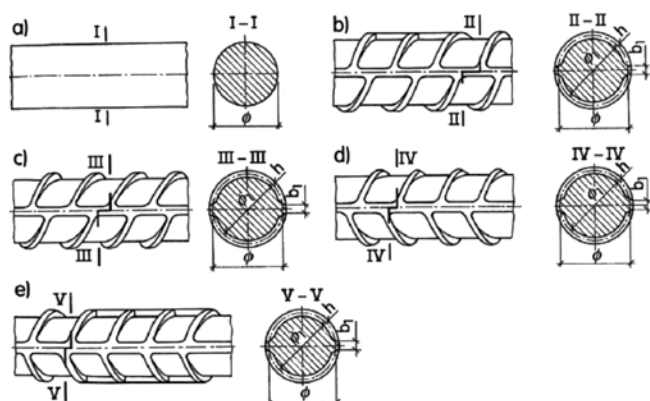
Pręty zbrojeniowe używane są w konstrukcjach żelbetowych, tj. konstrukcjach z betonu i ułożonych w nim prętów ze stali zbrojeniowej. Ilość stali w konstrukcjach żelbetowych jest niewielka i na ogół nie przekracza 5% ich całkowitej objętości, jednak wprowadzenie prętów stalowych do konstrukcji betonowej umożliwia osiągnięcie bardziej wytrzymałych konstrukcji o większych wymiarach. Zadaniem prętów zbrojeniowych nośnych, rozdzielczych, strzemion oraz siatek stosowanych do konstrukcji betonowych jest ich wspólne przenoszenie sił, głównie rozciągających i poprzecznych, występujących podczas pracy konstrukcji. Wytrzymałość betonu na rozciąganie jest bardzo mała, zatem można przyjmować, że obciążenie rozciągające w konstrukcjach żelbetowych jest przenoszone tylko przez pręty zbrojeniowe. Zbrojenie stosowane jest również w przypadku występowania dużych naprężeń ściskających i ograniczonych wymiarów przekroju betonu. Wówczas mogą występować niekorzystne dla konstrukcji żelbetowych zbyt duże naprężenia wywołane skurczem betonu i zmianami temperatury.

### Klasy i gatunki

Zgodnie z PN-89/H-84023/06 stala do zbrojenia betonu dzieli się na 5 klas. Pręty zbrojeniowe, w zależności od klasy, rozróżnia się pod względem układu i nachylenia żeber na poboczniczy pręta. Na rysunku 1 przedstawiono pręty do zbrojenia

betonu oraz ich układy uźebrowania, natomiast na rysunku 2 pokazano klasy stali i przyporządkowane im gatunki wg PN-B-03264, oraz dodatkowe dwa gatunki nieujęte w normie – RB500W i BST500S (w ramach klasy AIIIIN).

W klasie A-0 produkowane są pręty okrągłe gładkie ze stali St0S. W klasie A-I — pręty okrągłe gładkie o innych właściwościach mechanicznych i technologicznych zaliczane do gatunków St3SX i St3SY. Pręty zbrojeniowe w klasie A-II mają na powierzchni ukształtowane dwa żebra podłużne, biegnące równoległe do długości pręta. Pręty w klasie A-III są również żebrowane, podobnie jak w klasie A-II, z tym że żebra poprzeczne usytuowane są w tzw. „jodełkę”



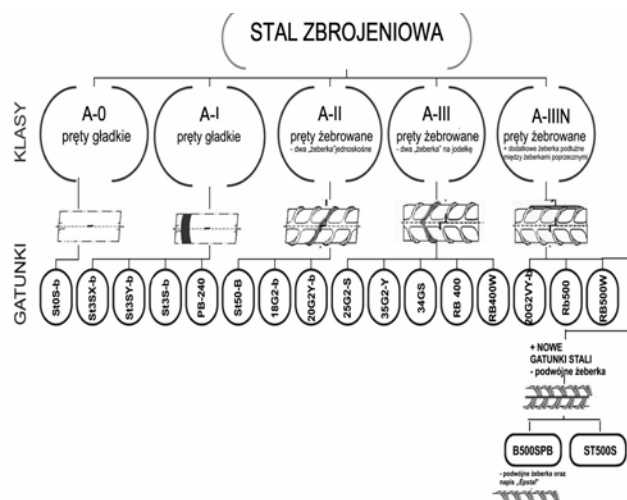
**Rys. 1.** Pręty zbrojeniowe ze stali: a) pręty gładkie (klasa A-0 i A-I), b) pręty żebrowane – dwa żebra jednoskośne (klasa A-II, stal St50b), c) pręty żebrowane (klasa A-II dla gatunku 18G2-b), d) pręty żebrowane – tzw. „dwa żeberka na jodełkę” (klasa A-III dla gatunku 34GS), e) pręty żebra (klasa A-IIIIN dla gatunku 20G2VY-b) [7]

**Fig. 1.** Steel reinforced concentrate bar: a) plain bars (class A-0 and A-I), b) ribbed reinforcing bar – two skewed ribs (class A-II, grade St50b), c) ribbed reinforcing bar (Class A-II species 18G2-b), d) ribbed reinforcing bar (Class A-III to grade 34GS), e) ribbed reinforcing bar (class A-IIIIN species 20G2VY-b) [7]

i nachylone do żeber podłużnych z jednej strony pręta pod kątem ok. 60°, a z drugiej strony pod kątem 300°. Pręty 20G2VY produkowane w klasie A-IIIIN, dla odróżnienia ich od prętów 34GS, mają nawalcowane dodatkowe odcinki żeber podłużnych między żeberami poprzecznymi.

W tablicy I przedstawiono gatunki i klasy stali do zbrojenia betonu wraz z ich podstawowymi właściwościami mechanicznymi oraz przydatnością do spajania, scharakteryzowaną maksymalną zawartością węgla i równowaznikiem węgla  $C_e$ .

W Polsce najczęściej używanymi gatunkami stali są: 18G2-b, 34GS, RB500, RB500W, BST500S.



**Rys. 2.** Klasy i gatunki stali wg PN-B-03264 oraz dwa gatunki nieujęte w normie – RB500W i BST500S (klasa AIIIIN) [7]

**Fig. 2.** Classes and grades acc. to PN-B-03264 and 2 not included in standard – RB500W and BST500S (class AIIIIN) [7]

**Tablica I.** Charakterystyczne właściwości stali przeznaczonej na pręty zbrojeniowe [6]

**Table I.** Typical properties of steel for reinforced concentrate bar [6]

Norma	Gatunek stali	Klasa stali	Zakres średnic, mm	$C_{max}$ %	$C_e$	Wymagane właściwości mechaniczne prętów			
						$R_e$ lub $R_{0,2}$ min, MPa	$R_m$ , MPa	$A_5$ min, %	Kąt gięcia/średnica trzpienia gnącego
PN-82/H-93215 PN-89/H-84023.6 PN-H-84023-6/A.1:1996	St-0b	A-0	5.5+40	0,23	-	220	310+550	22	180°/2 d
	St3Sx-b St3Sy-b	A-I		0,22	-	240	370+460	24	180°/2 d
	St50B	A-II	6+32	0,40	-	355	min.490	17	180°/3 d
	18G2-b			0,22	0,48		490+620	20	180°/3 d
	20G2Y-b			0,23	0,48		490+620	20	180°/2 d
	25G2S	A-III	6+40	0,29	0,58	395	min. 590	14	90°/3 d
	35G2Y			0,35	0,59	410		16	90°/3 d
	34GS			0,36	0,59	410		16	90°/3 d
	20G2VY			A-IIIIN	6+28	0,23		0,52	490
Seria norm PN-ISO 6935	RB300	A-IIIIN	6+40	brak	brak	300	min. 330	16	160°/2+4 d
	RB400 RB400W			0,22	0,50	400	min. 440	14	160°/2.5+5 d
	RB500 RB500W			0,24	0,52	500	min. 550	14	160°/3+6 d
	BSt420S BSt500S			6+28 (32)	0,22	-	420	min. 500	10
	0,22	-	500		min. 550	10	180°/5+8 d		
PN-ENV 10080	B500A		6+16	0,24	0,52	500	min. 1,05xRe	2,5	90°/5+10 d
	B500B		6+40	0,24	0,52	500	min. 1,08xRe	5	90°/5+10 d

## Metody wytwarzania

Stal zbrojeniowa wytwarzana jest przez huty i zakłady przetwórstwa hutniczego w postaci prętów gładkich i żebrowanych, walcówki i drutu w kręgach z powierzchnią gładką lub żebrowaną oraz jako siatki zgrzewane maszynowo z prętów lub z odcinków drutów.

Postęp w technologii wytwarzania wyrobów stalowych do zbrojenia betonu był ukierunkowany w minionych kilkunastu latach na uzyskanie zwiększonej wytrzymałości i granicy plastyczności, przy jednocześnie dobrej plastyczności i spawalności. Rozwój technologii walcowania i przetwórstwa hutniczego pozwala obecnie na uzyskanieżądanego kształtu i wymiarów wyrobów hutniczych z dużą dokładnością wymiarową.

Tradycyjna technologia wytwarzania prętów lub walcówki do zbrojenia betonu polega na walcowaniu na gorąco i naturalnym chłodzeniu w powietrzu po walcowaniu. Uzyskanie wysokiej granicy plastyczności prętów możliwe jest w wyniku zastosowania jednej z następujących technologii:

- obróbki cieplnej bezpośrednio po walcowaniu (przyspieszone chłodzenie), realizowanej z zastosowaniem jednej z następujących odmian umacniania cieplnego: TEMPCORE, QTB;
- walcowania z regulowaną temperaturą prętów ze stali mikrostopowych, np. z mikrodotądkiem wana-du i niobu;
- umacniania na zimno prętów przez skręcanie, rozciąganie i/lub nagniatanie użebrowania.

Najczęściej stosowane są technologie TEMPCORE i QTB.

W **technologii TEMPCORE**, która obejmuje obróbkę cieplną z wykorzystaniem ciepła walcowania, podwyższenie właściwości mechanicznych prętów uzyskuje się w wyniku zahartowania i samoodpuszczenia zewnętrznej warstwy pręta przechodzącego po zakończeniu walcowania przez linię intensywnego chłodzenia wodnego oraz w wyniku rozdrobnienia struktury ferrytyczno-perlitycznej w środkowej strefie pręta. Skład chemiczny stali na pręty żebrowane do zbrojenia betonu podany w normie PN-ISO 6935-2 określa dopuszczalne zawartości pierwiastków podstawowych (C, Mn, Si), resztkowych (Cr, V, Mo, Cu, Ni, Sb, Sn), domieszek szkodliwych (S, P), gazów ( $N_2$ ,  $H_2$ ,  $O_2$ ) oraz maksymalną wartość równoważnika węgla  $C_e$ . Skład

chemiczny stali wytwarzanych w kraju metodą umocnienia cieplnego, wg PN-ISO 6935-2:1998 oraz wg projektu PN-EN 10080:2007, podano w tablicy II.

Zastosowanie technologii TEMPCORE przynosi znaczne efekty:

- ekonomiczne (obniżenie kosztów produkcji prętów),
- technologiczne (produkcja wysokiej jakości prętów ze stali o  $R_{e\ min} - 500$  MPa,  $A5 = 15\%$  oraz o bardzo dobrej spawalności i zgrzewalności),
- konstrukcyjne (znaczące zmniejszenie liczby i masy prętów stosowanych w konstrukcjach żelbetowych),
- jakościowe (polepszenie jakości powierzchni prętów przez zmniejszenie grubości zgorzeliny, zmniejszenie braków na skutek uszkodzenia powierzchni prętów, zapewnienie większej prostoty prętów),
- organizacyjne (zmuszenie producentów prętów do przestrzegania ostrych wymagań narzuconych przez systemy jakości),
- rynkowe (eliminacja z rynku produkcji prętów o ograniczonej spawalności i zgrzewalności).

**Technologia QTB** (*Quenching and Tempering Bars*) opracowana przez firmę DANIELI jest odpowiednikiem metody kontrolowanego chłodzenia TEMPCORE. Zapewnia ona uzyskanie podwyższonych właściwości wytrzymałościowych prętów ze stali niskowęglowych przez zastosowanie w linii walcowania na gorąco odpowiedniego systemu trójfazowego kontrolowanego chłodzenia prętów.

Pod względem struktury wewnętrznej pręt poddany takiej obróbce cieplnej wykazuje przypowierzchniową warstwę martenzytu odpuszczonego, podczas gdy rdzeń pręta składa się z ferrytu i perlitu oraz struktur pośrednich.

Dzięki zastosowaniu technologii QTB uzyskuje się poprawę parametrów technicznych prętów:

- wysoką wytrzymałość na rozciąganie,
- dobrą spawalność dzięki możliwości zmniejszenia zawartości węgla przy zachowaniu wysokiej umownej granicy plastyczności,
- dobrą zgiąłność bez występowania mikropęknięć na powierzchni pręta,
- bardzo dobrą charakterystykę zachowania się prętów w warunkach zmęczeniowych, osiąganą dzięki wysokiej plastyczności powierzchniowej warstwy martenzytu, co pozwala na wykorzystywanie prętów z QTB w elementach konstrukcyjnych poddawanych obciążeniom dynamicznym,

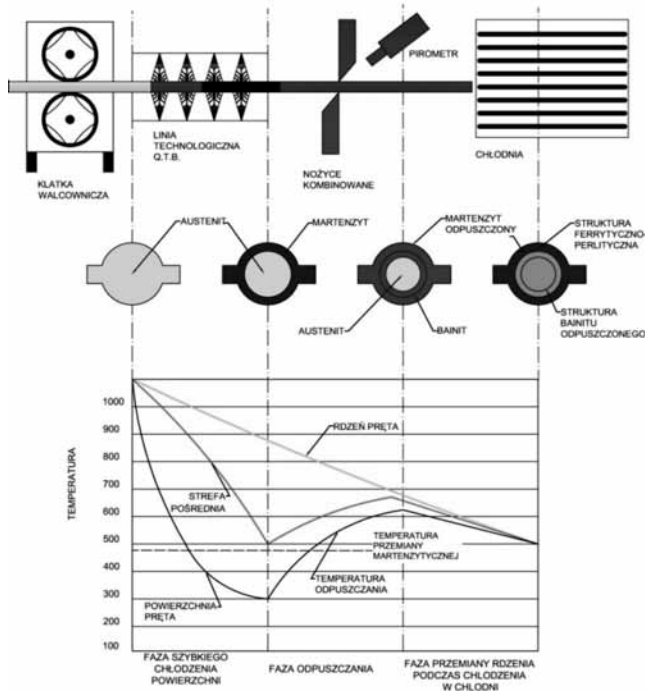
**Tablica II.** Wymagany skład chemiczny stali na pręty żebrowane wg PN-ISO 6935-2:1998 i PN-EN 10080:2007

**Table II.** Required chemical composition of steel for reinforced concentrate bar acc. to PN-ISO 6935-2:1998 and PN-EN 10080:2007

Numer normy	Gatunek stali	Maksymalna zawartość pierwiastka, % masy						
		C	Mn	Si	P	S	N	$C_e$
PN-ISO 6935-2	RB300, RB400 RB500	-	-	-	0,060 (0,050) <sup>1)</sup>	0,060 (0,050) <sup>1)</sup>	-	-
	RB400W, RB500W	0,22	1,60	0,60	0,050	0,050	0,012	0,50 (0,55) <sup>2)</sup>
PN-EN 10080:2007	B500A, B500B	0,24	-	-	0,055	0,055	0,013	0,52

<sup>1)</sup> Norma PN-ISO 6935-2/AK:1998 ogranicza zawartość P i S do poziomu 0,050%

<sup>2)</sup> Dla prętów RB400W i RB500W o średnicy powyżej 32 mm dopuszcza się 0,25%C i  $C_{e\ max} - 0,55\%$



Rys. 3. Schemat przebiegu procesu technologii QTB [14]  
Fig. 3. Scheme of QTB process [14]

- dzięki wysokiej stabilności cieplnej struktury poddanej obróbce cieplnej charakterystyka zachowania się prętów z QTB podczas pożaru nie odbiega od właściwości prętów walcowanych metodą klasyczną.

Na rysunku 3 przedstawiono uproszczony schemat procesu technologii QTB wraz z wykresem temperatur – fazy chłodzenia pręta żebrowanego.

## Spawalność

Na spawalność stali prętów żebrowanych decydujący wpływ ma skład chemiczny (wyrażony wartością równoważnika węgla  $C_e$ ), obecność wodoru dyfundują-

cego oraz średnica pręta. Norma budowlana B-03264 oraz normy przedmiotowe na wytwarzanie spawalnych prętów ograniczają wartość równoważnika  $C_e$  do 0,50%. Wzrost grubości prętów zwiększa ryzyko podhartowań w strefie wpływu ciepła (SWC), co w obecności naprężeń spawalniczych oraz naprężeń pochodzących od obciążeń zewnętrznych może spowodować pęknięcie zimne.

W przypadku nowoczesnych prętów żebrowanych nie występuje ryzyko pęknięcia gorącego, nagłego czy lamelarnego. Pęknięcia kruche ze względu na korzystną strukturę materiału pręta (obecność odpuszczonego martenzytu o niskiej twardości) nie powinny stanowić zagrożenia.

Przydatność stali zbrojeniowej do łączenia za pomocą spawania łukowego lub zgrzewania oporowego podano w tablicy III. Spawalność „zadowolająca” oznacza możliwość połączenia prętów przy zachowaniu odpowiednich warunków wykonania oraz przeprowadzenia badań wstępnych, natomiast spawalność „nie-dostateczna” lub (utrudniona) oznacza, że stal, z uwagi na skład chemiczny, stwarza trudności w połączeniu metodami spawania i zgrzewania, jednak nie uniemożliwia połączenia prętów innymi metodami.

## Rodzaje połączeń spawanych

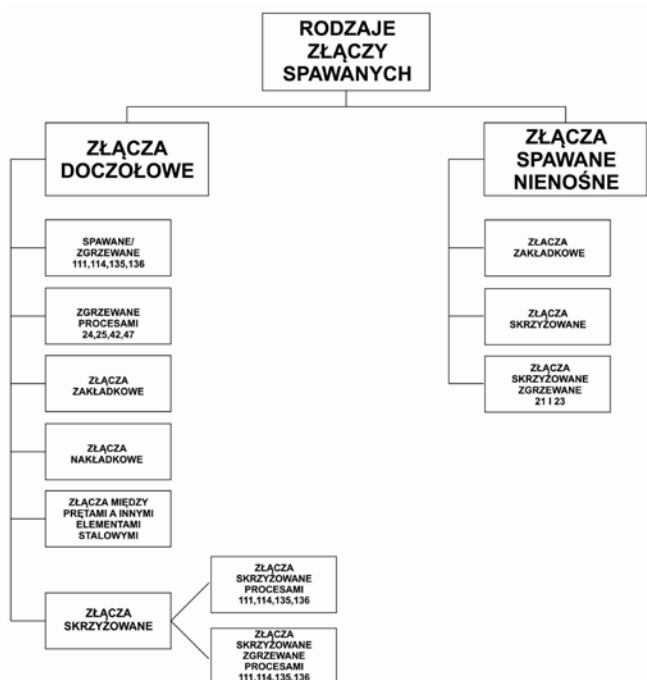
Połączenia spawane prętów zbrojeniowych można podzielić na złącza spawane nośne i złącza spawane nienośne (rys. 4). Złącza nośne są to złącza spawane stosowane do przenoszenia specyficznych obciążeń ze stali zbrojeniowej. Złącza spawane nienośne są to złącza, których wytrzymałość jest nieuwzględniana przy projektowaniu konstrukcji do zbrojenia betonu. Zadaniem nieobciążonego złącza spawanego jest zwykle zapewnienie wzajemnego połączenia elementów do zbrojenia betonu podczas produkcji, transportu i betonowania. Stosowane połączenia spawanych prętów zbrojeniowych można podzielić

Tablica III. Ogólna charakterystyka spawalności krajowych stali zbrojeniowych [10]

Table. III. Typical weldability of domestic steels for reinforced concrete bars [10]

Klasa stali	Gatunek stali	Spawalność lub zgrzewalność stali zbrojeniowej przy zastosowaniu		
		spawania łukowego	zgrzewania oporowego	
			doczołowego	punktowego
A-0	St0S-b	dobra (do d = 25 mm)	dobra	
A-I	St3SX-b	dobra (do d = 25 mm)	dobra	
	St3SY-b	dobra	dobra	
A-II	PB 240	utrudniona	brak danych	
	St50B		dobra (wymaga przeprowadzania wstępnych prób zgrzewalności)	niedostateczna
	18G2-b	dobra	dobra	
A-III	20G2Y-b	zadowolająca	zadowolająca	
	25G2S	utrudniona	zadowolająca	
	25G2Y		zadowolająca	
	34GS		zadowolająca	
	RB 400	bardzo dobra	dobra (zgrzewanie prętów prostych)	
	RB400 W		brak danych	
	RB 500	utrudniona	bardzo dobra	
RB 500W	bardzo dobra	brak danych		
			bardzo dobra	





Rys. 4. Klasyfikacja złączy spawanych wg rodzaju  
Fig. 4. Welded joint type classification

na następujące rodzaje złączy: doczołowe, zakładkowe, nakładkowe, krzyżowe, złącza z innym elementem stalowym, złącza inne.

## Metody spawania

Norma EN ISO 17660:2008 *Spawanie – Spawanie/zgrzewanie stali zbrojeniowej* podaje zalecane średnice prętów do zbrojenia betonu dla różnych rodzajów

i stopni odpowiedzialności złączy spajanych stosowanych w praktyce budowlanej. W tabelicy IV przedstawiono zalecane metody spawania prętów do zbrojenia betonu.

W teorii pręty zbrojeniowe można łączyć kilkoma metodami spawania (procesy 111, 135, 136 wg PN-EN ISO 4063), ale praktycznie metodą najczęściej stosowaną przez wykonawców jest metoda ręcznego spawania elektrodą otuloną (111), która w warunkach zarówno warsztatowych, jak i na placu budowy ma sporo zalet w porównaniu z pozostałymi, tj. łatwość transportu źródeł inwertorowych do kolejnych stanowisk w czasie pracy, wyeliminowanie butli gazowych, większą odporność na podmuchy wiatru oraz mniejszą awaryjność od bardziej skomplikowanych półautomatów spawalniczych MIG/MAG.

## Badania złączy próbnych i kryteria oceny

Złącza próbne określa się na podstawie analizy projektu konstrukcyjnego obiektu, dla którego będzie wykonywane uznanie/kwalifikowanie technologii spawania. Analizie podlegają następujące elementy złączy nośnych: grupy (gatunki) stali spawanych elementów konstrukcji zbrojenia (pręty, blachy), średnica prętów, grubość blach, typy połączeń, rodzaj i grubość spoin.

Na podstawie tych danych należy wybrać złącza reprezentatywne dla występujących połączeń, grubości spoin i materiałów, uwzględniając zakres kwalifikowania. W praktyce projektanci dążą do unifikacji konstrukcji zbrojenia, co zmniejsza liczbę zmiennych parametrów, a w wielu przypadkach może nawet oznaczać jeden typ pręta nośnego (gatunek, średnica) z jednym typem połączenia.

Tablica IV. Zalecane metody spawania prętów do zbrojenia betonu [2]

Table IV. Recommended methods for reinforced concrete bars welding [2]

Numer metody spawania wg PN-EN ISO 4063 (nazwa metody spawania)	Rodzaj złącza spawanego	Zakres średnic prętów dla złączy, mm	
		nośnych <sup>1)</sup>	nienośnych <sup>2)</sup>
21 (zgrzewanie punktowe odporowe)	zakładkowe	nie ma zastosowania	5÷50
23 (zgrzewanie garbowe)	krzyżowe	5÷20	5÷50
24 (zgrzewanie iskrowe), 25 (zgrzewanie zwarciove)	doczołowe	5÷50	nie ma zastosowania
42 (zgrzewanie tarciove)	doczołowe, doczołowe z inną stalą	6÷50	nie ma zastosowania
47 (zgrzewanie gazowe; płomieniowe)	doczołowe	6÷50	nie ma zastosowania
111 (spawanie łukowe elektrodą otuloną) 114 (spawanie łukowe drutem proszkowym samoosłonowym) 135 (spawanie łukowe metodą MAG) 136 (spawanie łukowe drutem proszkowym w atmosferze gazu aktywnego)	doczołowe bez podkładki	≥16	nie ma zastosowania
	doczołowe z podkładką	≥12	nie ma zastosowania
	zakładkowe	6÷50	6÷50
	nakładkowe	6÷50	nie ma zastosowania
	krzyżowe	6÷50	6÷50
	doczołowe z inną stalą	6÷50	6÷50

<sup>1)</sup> Złącza spawane wykonane z prętów do zbrojenia betonu, stosowane do przenoszenia głównych obciążeń przez pręty oraz elementy stalowe połączone z prętami.

<sup>2)</sup> Złącza spawane, których wytrzymałość nie jest brana pod uwagę w fazie projektowania konstrukcji zbrojeniowej; służą tylko do utrzymania elementów zbrojenia we właściwej pozycji podczas wytwarzania, transportu i montażu konstrukcji.

Zakres badań złączy próbných przedstawiono w tablicy V. Badania nieniszczące (NDT) zaleca się wykonać najwcześniej po upływie 24 h po zakończeniu spawania w celu ujawnienia ewentualnych pęknięć zimnych.

Badania niszczące wykonuje się na złączach, które uzyskały pozytywny wynik badań nieniszczących (NDT). W praktyce jest istotne, aby badania zostały wykonane przez akredytowane laboratorium, a badania nieniszczące przez certyfikowany personel.

W wyniku obserwacji złącza można określić charakter krystalizacji pierwotnej materiału spoiny, niezgodności spawalnicze wewnętrzne i zewnętrzne, jakość wtopienia metalu spoiny w materiał łączony, szerokość strefy wpływu ciepła oraz makrostrukturę materiału podstawowego.

W przypadku badań wykonywanych na złączach prętów zbrojeniowych zakres potrzebnych badań przedstawiono w tablicy V.

Liczba złączy próbných jest pochodną zakresu badań, co oznacza, że dla technologii spawania prętów spoinami czołowymi potrzeba 8 złączy, a dla prętów ze spoinami pachwinowymi 4 złącza, z wyjątkiem złączy krzyżowych, które wymagają 7 próbek (próby twardości można wykonać na próbkach makroskopowych po wykonaniu fotografii).

Dla złączy ze spoinami czołowymi długość próbek do badań mechanicznych przyjmuje się rzędu 300 mm. Dla złączy ze spoinami pachwinowymi długość próbek do próby rozciągania powinna być większa, rzędu 700÷800 mm.

Do prób spawania prętów zbrojeniowych należy dobrać materiały dodatkowe, które:

- zapewniają stopiwo o granicy plastyczności  $R_{e\min}$  równej, a w praktyce bezpieczniej – o 10÷15% wyższej od granicy plastyczności łączonych prętów. Jest to szczególnie ważne przy spawaniu prętów ze stali wysokowytrzymałej;
- mają dobre technologiczne właściwości spawalnicze, czyli charakteryzują się dobrym równomiernym stapianiem, zapewniają równomierne kształtowanie spoiny oraz małą ilość rozprysków;
- są uznane przez instytucje dozoru technicznego, np.: UDT, TÜV, DB lub morskie towarzystwa klasyfikacyjne;
- mają kartę katalogową z danymi technologicznymi oraz dokument kontroli wg normy EN 10204 – tzw. certyfikat wytwórcy;
- w przypadku elektrod otulonych, dodatkowo, są dostępne w opakowaniach próżniowych, co eliminuje problem z suszeniem, kłopotliwy na budowie.

## Badania własne złącza próbnego

W celu zobrazowania procesu kwalifikowania prętów żebranych przedstawiono badanie złącza wykonanego na pręcie żebranym o średnicy 25 mm. Pręty połączono w złączu zakładkowym jednostronną spoiną pachwinową w pozycji podolnej (PA)

**Tablica V.** Zakres badań złączy próbných i dotyczące ich wymagania [3-5]

**Table V.** The range of tests for test-joint and requirement for it [3-5]

Złącze próbne	Rodzaj badań	Zakres badań	Wymagania
pręt + pręt ze spoiną czołową	badania wizualne (VT)	100%	B wg EN ISO 5817
	badania na pęknięcia powierzchniowe: PT/MT	100%	B wg EN ISO 5817
	badania radiologiczne (RT)	100%	B wg EN ISO 5817
	próba rozciągania	3 próbki	zerwanie w materiale <sup>1)</sup>
	próba zginania	4 próbki	kąt zginania 120° <sup>2)</sup>
	badania makroskopowe	1 próbka	B wg EN ISO 5817
	próba twardości HV10 <sup>5)</sup>	1 próbka	dopuszczalna maksymalna twardość <sup>3)</sup>
pręt + pręt ze spoiną pachwinową*	badania wizualne (VT)	100%	C wg EN ISO 5817 <sup>4)</sup>
	badania na pęknięcia powierzchniowe: PT/MT	100%	C wg EN ISO 5817
	próba rozciągania	3 próbki	zerwanie w materiale <sup>1)</sup>
	badania makroskopowe	2 próbki	C wg EN ISO 5817
	próba twardości HV 10 <sup>5)</sup>	2 próbki	dopuszczalna maksymalna twardość <sup>3)</sup>
pręt + blacha, spoina pachwinowa	badania wizualne (VT)	100%	C wg EN ISO 5817
	badania na pęknięcia powierzchniowe: PT/MT	100%	C wg EN ISO 5817
	badania makroskopowe	2 próbki	C wg EN ISO 5817 <sup>4)</sup>
	próba twardości HV 10 <sup>5)</sup>	2 próbki	dopuszczalna maksymalna twardość <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Dla złączy skrzyżowanych wymagana jest dodatkowo próba ścinania (3 próbki).

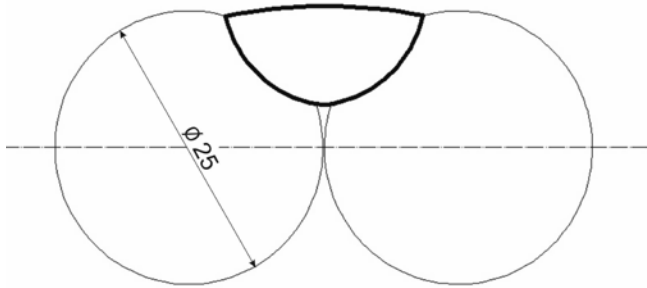
<sup>1)</sup> W przypadku zerwania w spoinie:  $R_m >$  od minimalnej wartości wytrzymałości dla danej stali, dla spoin pachwinowych należy uwzględnić współczynnik ścinania.

<sup>2)</sup> 2 próbki z rozciąganiem lica, 2 próbki z rozciąganiem grani.

<sup>3)</sup> Dopuszczalna maksymalna twardość HV 10: 350 – dla stali grupy 1 i 2 wg ISO/TR 15608; 420 – dla stali grupy 3 wg ISO/TR 15608.

<sup>4)</sup> Próbki pobrać z obu końców spoiny.

<sup>5)</sup> Próbę twardości wykonać na próbkach makroskopowych, po wykonaniu fotografii.



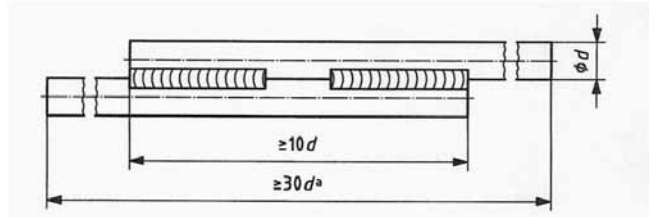
**Rys. 5.** Przekrój połączenia zakładkowego jednostronnego prętów wykonanego w pozycji podolnej (PA)

**Fig. 5.** Cross section of overlap joint of bars made in the flat welding position (PA)

- rysunek 5. Na podstawie EN ISO 17660-1:2008 oraz EN ISO 15614-1:2008 przeprowadzona została procedura kwalifikowania technologii spawania prętów żebrowanych do zbrojenia betonu.

## Charakterystyka badanego pręta

W celu przeprowadzenia kwalifikowania technologii spawania prętów żebrowanych do zbrojenia betonu wykonano badania nieniszczące (NDT) i niszczące: wizualne (VT), penetracyjne (PT), wytrzymałości



**Rys. 6.** Próbkę do badania złącza zakładkowego (badanie na rozciąganie) zgodnie z PN EN-ISO 17660-1:2008

**Fig. 6.** Sample for testing with overlap joints (tensile test) acc. to EN ISO 17660-1:2008

**Tablica VI.** Charakterystyka badanego pręta

**Table VI.** Characteristic of tested reinforced concrete bar

Pręt zbrojeniowy	Wyrób	Stan	Przeznaczenie	Gatunek	Norma	Wymiar, mm
A	pręt gorąco walcowany okrągły żebrowany	surowy	do zbrojenia betonu	BS500S	DIN488-1:84/DIN 488-2:86	25

**Tablica VII.** Skład chemiczny oraz właściwości mechaniczne badanego pręta zbrojeniowego

**Table VII.** Chemical composition and mechanical properties of tested reinforced concrete bar

Pręt zbrojeniowy	Skład chemiczny wytopu, %											Równoważnik węgla $C_e$
	C	Mn	Si	P	S	Ce	Ni	Cu	Mo	V	N	
A	0,21	0,9	0,14	0,014	0,035	0,09	0,09	0,3	0,02	0,002	0,009	0,41
	Równoważnik węgla $C_e$ wg wzoru $C_e = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)15$											
	Właściwości mechaniczne											
	$R_m$ , N/mm <sup>2</sup>			$R_e$ , N/mm <sup>2</sup>			$R_m/R_e$		A10, %		Agt, %	
	680			573			1,19		18,2		10,5	

**Tablica VIII.** Metody spawania badanych prętów

**Table VIII.** Welding methods of tested reinforced concrete bars

Pręt zbrojeniowy	Metoda spawania PN-EN ISO 4063	Rodzaj wykonanej spoiny PN-EN 287-1	Pozycja spawania PN-EN ISO 6947	Rodzaj użytej elektrody	Klasa elektrody Wg EN 757
A	111	FW	PF	OK. 74.78	E 55 4 Mn Mo B 3 2 H5

**Tablica IX.** Wyniki badania wizualnego złącza spawanego pręta zbrojeniowego o średnicy 25 mm

**Table IX.** Results of visual testing of welded joint of reinforced concrete bar with diameter of 25 mm

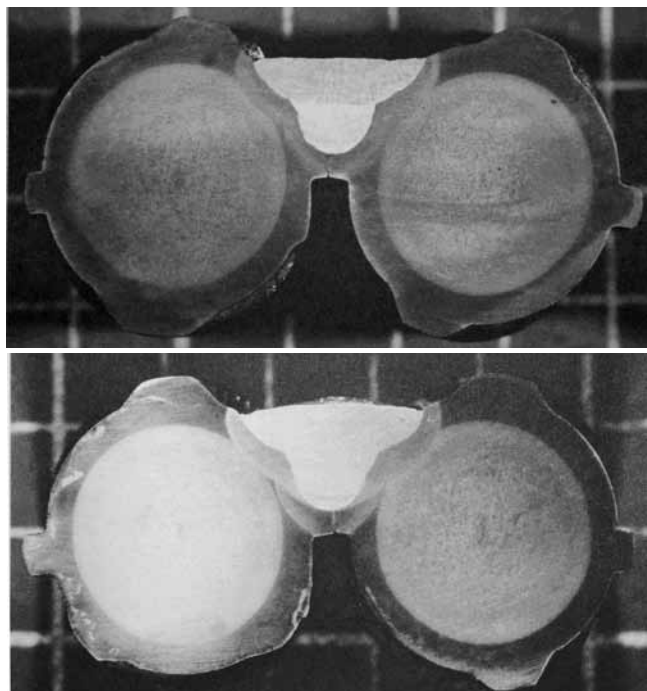
Numer próbki	Lico/graf	PN-EN ISO 6520-1:2009 / PN-EN ISO 5817:2009																Wynik			
		101	102	103	104	402	504	507	508	509	510	512	514	515	5011	5012	5013		INNE		
A.1	L																			B	
A.2	L																				B
A.3	L													B							B
A.4	L																				B

**Tablica X.** Wyniki badania na rozciąganie złącza zakładkowego pręta o średnicy 25 mm

**Table X.** Results of tensile test of overlap joint of reinforced concrete bars with diameter of 25 mm

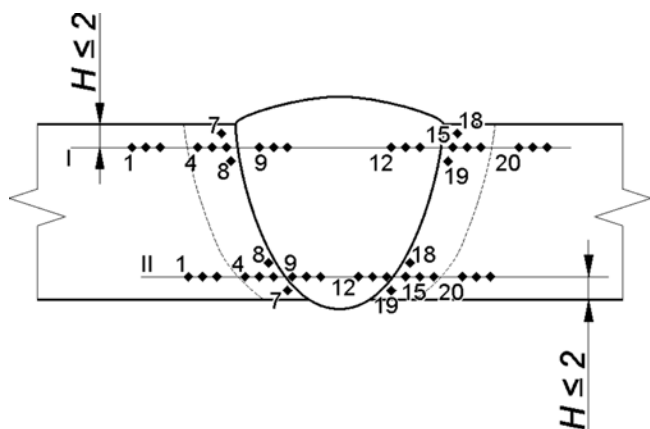
Numer próbki	Średnica badanego pręta, mm	$R_m$ , MPa	$A_n$ , mm <sup>2</sup>	$A_n \times R_m$ , kN	$F_{max}$ , kN	Miejsce pęknięcia	Wynik
A.1	Ø 25	550,0	490,9	270,0	325,0	M	pozytywny
A.2	Ø 25	550,0	490,9	270,0	325,5	M	pozytywny
A.3	Ø 25	550,0	490,9	270,0	325,0	M	pozytywny

gdzie:  $A_n$  – nominalne pole przekroju poprzecznego pręta w mm<sup>2</sup>;  $F_{max}$  – maksymalna siła rozciągająca, N;  $R_m$  – nominalna wytrzymałość na rozciąganie pręta, N/mm<sup>2</sup> wg DIN 488-1 09/84; M – materiał; S – spoina



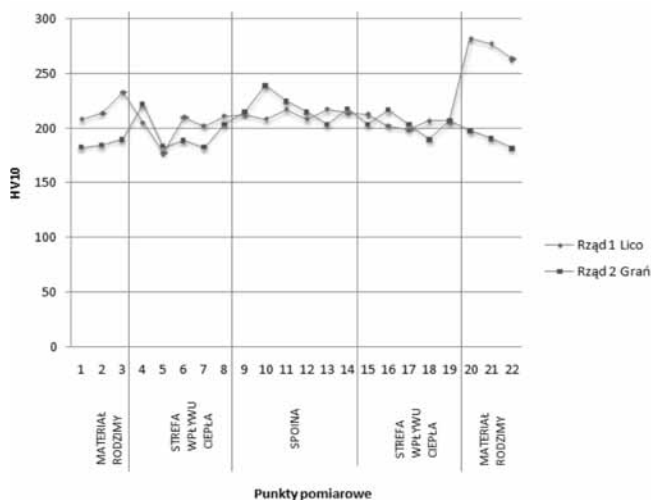
Rys. 7. Makrostruktura złącza zakładkowego pręta o średnicy 25 mm – próbki A.1 i A.2

Fig. 7. Macrostructure of overlap joint of reinforced concrete bars with diameter of 25 mm – samples A.1 and A.2



Rys. 8. Miejsca badania twardości na próbce A.1

Fig. 8. Hardness measurement points in sample A.1



Rys. 9. Wykres rozkładu twardości w poszczególnych punktach pomiarowych

Fig. 9. Hardness distribution in measurements points

Tablica XI. Wyniki badania twardości dla próbki A.1

Table. XI. Sample A.1 hardness measurement results

Rząd 1 lico		Rząd 2 grań	
Punkt pomiarowy	HV 10	Punkt pomiarowy	HV 10
1	208	1	183
2	214	2	185
3	233	3	190
4	205	4	222
5	178	5	184
6	210	6	189
7	202	7	183
8	211	8	204
9	213	9	215
10	208	10	239
11	217	11	225
12	208	12	215
13	217	13	204
14	214	14	218
15	213	15	204
16	202	16	217
17	199	17	204
18	207	18	190
19	207	19	207
20	282	20	198
21	277	21	191
22	264	22	182

na rozciąganie, twardości i makroskopowe. Badania wykonano zgodnie z zaleceniami zawartymi w normach:

- EN ISO 17660-1 – *Spawanie/zgrzewanie stali zbrojeniowej – Część 1: Złącza spawane/zgrzewane nośne*,
- EN ISO 15614-1 – *Specyfikacja i kwalifikowanie technologii spawania metali – Badanie technologii spawania – Część 1: Spawanie łukowe i gazowe stali oraz spawanie łukowe niklu i stopów niklu*.

## Wyniki badań wg EN ISO 17660-1 i EN ISO 15614-1

Zgodnie z wytycznymi norm badania laboratoryjne rozpoczęto po upływie 24 h od zakończenia spawania.

Po przeprowadzeniu badania wizualnego zgodnie z wytycznymi PN-EN 17637 stwierdzono (tabl. IX), że złącze wykonane z pręta o średnicy 25 mm spełnia wymagania jakościowe, a uzyskany poziom akceptacji określono jako wysoki (B) wg PN-EN ISO 5817:2009. Niezgodności określono zgodnie z PN-EN 6520. Jedyną znaną niezgodnością była nierówność lica, która ma niewielki wpływ na jakość i poprawność złącza.



Badania penetracyjne nie wykazały niezgodności na badanych próbkach. Poziom akceptacji zgodnie z PN-EN ISO 23277:2010 został określony na poziomie 1.

Badanie wytrzymałości na rozciąganie zostało wykonane zgodnie z wymaganiami zawartymi w normie, nie było potrzeby badania dwóch dodatkowych próbek. Wszystkie próby uzyskały wynik pozytywny (tabl. X), co oznacza, że spełniony został warunek przedstawiony w normie, mówiący, że wartość maksymalnej siły rozciągającej dla badanych próbek ma być wyższa od iloczynu nominalnego przekroju poprzecznego pręta oraz nominalnej wytrzymałości pręta na rozciąganie, tj. 550 MPa. W każdej z próbek miejscem pęknięcia nie była spoina, lecz materiał rodzimy, co oznacza, że wytrzymałość spoiny była większa od wytrzymałości materiału rodzimego.

Badanie makroskopowe zostało wykonane zgodnie z warunkami określonymi w normie. Na próbkach A.1 i A.2, widocznych na rysunku 6, nie znaleziono niezgodności w postaci: pęknięcia, porowatości, a regularny kształt każdej powierzchni próbki świadczy

o poprawnie wykonanym złączu. Na każdej z próbek widać linię wtopienia między materiałem dodatkowym a materiałem rodzimym, wtopienie ma regularny i prawidłowy kształt. Spoina ma wyraźne, równomierne wtopienie oraz wyraźne, równomierne ściegi. Strefa wpływu ciepła (SWC) również jest równomierna.

Badanie twardości wykonano zgodnie z wymaganiami zawartymi w normie. Wszystkie próby uzyskały wynik pozytywny, tj. żadna próbka nie przekroczyła dopuszczalnej twardości HV (zgodnie z tabl. XI) wg PN EN ISO 15614-1:2008.

W badaniu próbki A.1 stwierdzono, że został dobrany prawidłowy materiał dodatkowy, twardości są zbliżone do wartości materiału rodzimego, jakim jest pręt. Wyniki mieszczą się w zakresie dopuszczalnej twardości, tj. maksymalnie do 380 HV. Dobrze dobrany materiał dodatkowy i wykonanie złącza zgodnie z pWPS pozwoliły osiągnąć twardość spoiny nieodbiegającą znacznie od twardości prętów. Tym samym brak znacznych wahań twardości w konstrukcji prętowej nie wpłynie na jej jakość.

## Wnioski

Przeprowadzenie procesu kwalifikowania technologii spawania prętów żebrowanych do zbrojenia betonu możliwe jest tylko przy jednoczesnym wykorzystaniu EN ISO 17660-1:2008 oraz EN ISO 15614-1:2008. Korzystanie tylko z jednej z wymienionych norm nie daje możliwości kwalifikacji.

Zastosowana technologia wykonywania połączeń spoinami pachwinowymi prętów ze stali BSt500S elektrodami otulonymi OK 74.78 (E 55 2 Mn Mo B 32)

zapewnia spełnienie wymagań normy PN-EN ISO 15614-1:2008.

Spawana stal BSt500S, z uwagi na korzystny skład chemiczny, ma dobre właściwości spawalnicze, a zatem można ją stosować na typowe rozwiązania konstrukcyjne węzłów spawanych przy ograniczeniu energii liniowej łuku, co zabezpiecza złącze spawane przed przegrzaniem i spadkiem właściwości wytrzymałościowych w strefie spawania.

## Literatura

- [1] PN-H-84023-06:1989 Stal określonego zastosowania. Stal do zbrojenia betonu – gatunki.
- [2] EN ISO 17660-1:2008 Spawanie – Spawanie/ zgrzewanie stali zbrojeniowej – Część 1: Złącza spawane/zgrzewane nośne.
- [3] EN ISO 17660-2:2008 Spawanie – Spawanie/zgrzewanie stali zbrojeniowej – Część 2: Złącza spawane/zgrzewane nie-nośne.
- [4] EN ISO 15614-1: 2008 Specyfikacja i kwalifikowanie technologii spawania metali – Badania technologii spawania – Część 1: Spawanie łukowe i gazowe stali oraz spawanie łukowe niklu i stopów niklu.
- [5] PN-EN ISO 17637:2011 Badania nieniszczące złączy spawanych – Badania wizualne złączy spawanych.
- [6] PN-EN ISO 5817:2009 Spawanie – Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązek) – Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych.
- [7] PN-EN ISO 6520-1:2009 Spawanie i procesy pokrewne – Klasyfikacja geometrycznych niezgodności spawalniczych w metalach – Część 1: Spawanie.
- [8] ISO 3452-1:2008 Non-destructive testing – Penetrant testing – Part 1: General principles.
- [9] Ferenc K.: Technika spawalnicza w praktyce. Poradnik inżyniera, konstruktora i spawacza, Verlag Dashofer, 2009.
- [10] Ferenc K. Ferenc J.: Konstrukcje spawane – projektowanie połączeń. WNT, Warszawa, 2000.
- [11] Szubryt M.: Wymagania dotyczące spawania i odbioru konstrukcji z prętów zbrojeniowych. Przykład rozbieżności pomiędzy zaleceniami norm a praktyką. Biuletyn Instytutu spawalnictwa, 2004 nr 6, s. 51-58.
- [12] Saperski Marek: Procedura kwalifikowania technologii spawania prętów żebrowanych do zbrojenia betonu. Biuletyn Instytutu Spawalnictwa, 2010 nr 1, s. 59-63.
- [13] Zeman M.: Spajanie nowoczesnych prętów żebrowanych do zbrojenia betonu w gatunku RB500W o granicy plastyczności powyżej 500 MPa. Biuletyn Instytutu Spawalnictwa, 2004 nr 1, s. 49-55.
- [14] Zeman M.: Nowe wymagania jakościowe dotyczące spajania prętów do zbrojenia betonu. Biuletyn Instytutu Spawalnictwa, 2005 nr 1, s. 33-43.