

KOLEJNE ETAPY OCENY STANU TECHNICZNEGO UTB



TOMASZ BORTH

Kierownik Działu Urządzeń
Transportu Bliskiego
w Gliwicach
Urząd Dozoru Technicznego
O/Katowice



KRZYSZTOF DĘBSKI

Ekspert Urządzeń
Transportu Bliskiego
Urząd Dozoru Technicznego
O/Łódź



WOJCIECH CZAPŁA

Ekspert Urządzeń
Transportu Bliskiego
Urząd Dozoru Technicznego
O/Bydgoszcz



ZBIGNIEW PILARZ

Główny Specjalista Urządzeń
Transportu Bliskiego
Urząd Dozoru Technicznego
O/Katowice

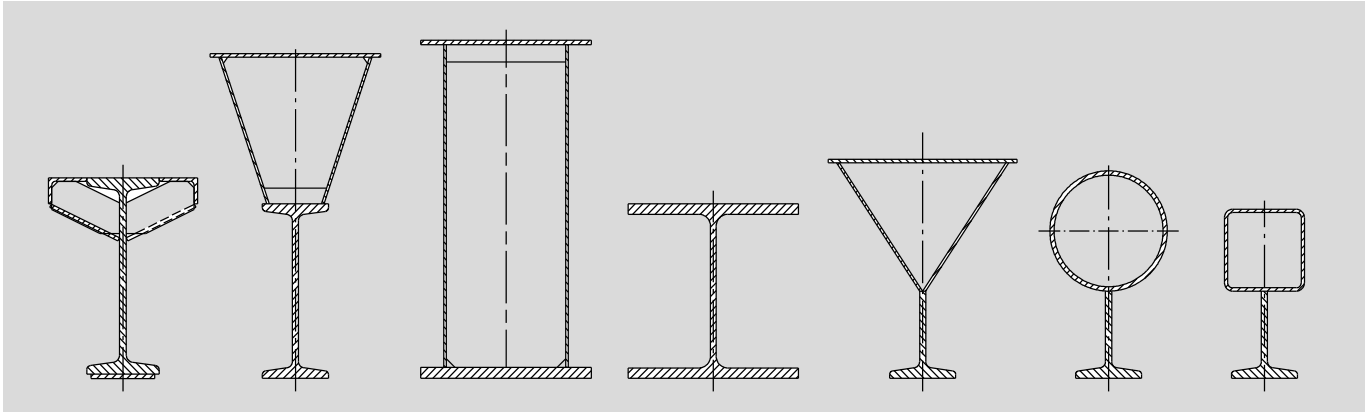
W poprzednim trzecim artykule z cyklu UTB opisano wstępnie początkowe etapy oraz skupiono się na metodach badań niszczących, wykorzystywanych w procesie prowadzenia oceny stanu technicznego ustrojów nośnych urządzeń transportu bliskiego.

Nie jest możliwe, aby przyjąć jedną uniwersalną metodę dla wszystkich urządzeń oraz dla wszystkich stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych. Dlatego też proces oceny stanu technicznego powinien rozpocząć się od zapoznania osoby kompetentnej z dokumentacją eksploatacyjną, konstrukcyjną i ogólnym stanem technicznym urządzenia. Złożoność i różnorodność stosowanych konstrukcji może wymuszać indywidualne podejście do każdego urządzenia. Dopiero zebranie tych informacji pozwala na określenie zakresu wykonywanych badań, pomiarów czy doboru technik pomiarowo-badawczych, jak również ewentualny dobór osób, które będą współpracować ze sobą w całym procesie. W tej oraz kolejnej części artykułów z cyklu UTB omawiamy elementy i składowe, opisanych we wcześniejszych artykułach, ETAPÓW oceny stanu technicznego ustrojów nośnych.

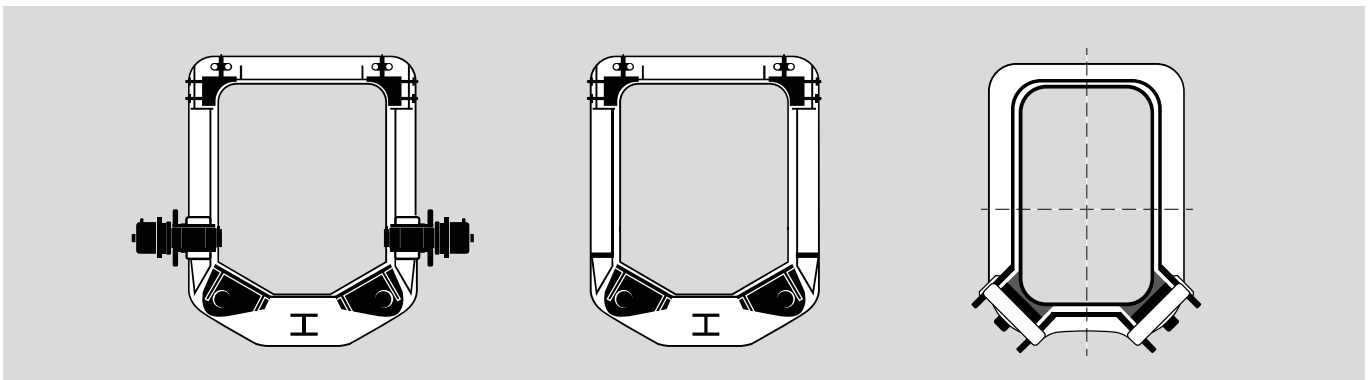
Konstrukcje nośne urządzeń transportu bliskiego poddawane są działaniu zarówno OBCIĄŻEŃ rozłożonych, jak i skupionych występujących najczęściej w postaci sił ruchomych.

Zaczynając ocenę stanu technicznego, pamiętamy, że od ustroju nośnego żąda się pewnych bazowych funkcjonalności, parametrów i cech zapewniających bezpieczne użytkowanie.

- Właściwe dostosowanie do potrzeb wynikających z warunków eksploatacji.
- Wymagana normami i przepisami niezawodność użytkowa.
- Najbardziej racjonalne kształty i wymiary zapewniające oszczędne zużycie materiałów.
- Spełnianie postulatów technologicznych warunkujących łatwość wykonania, transportu i montażu.
- Należyte zabezpieczenie urządzenia przed wywróceniem (zapewnienia właściwej stateczności).
- Spełnienie wymagań estetycznych.



Rysunek 1. Przykładowe przekroje dźwigarów suwnic



Rysunek 2. Przykładowe przekroje wysięgników żurawi samojezdnych

Jak widać, różne urządzenia mogą mieć różne **POSTACI KONSTRUKCYJNE** urządzeń nośnych.

Kolejnym aspektem, który należy bezwzględnie brać pod uwagę podczas opisywanego procesu, jest **RODZAJ ZASTOSOWANEGO MATERIAŁU**. Istotne jest bowiem uwzględnienie struktury materiału, jego własności mechanicznych, fizycznych i chemicznych, procesów starzenia oraz odporności na kruche pękanie.

Ogólnie można jednak przyjąć, że będą one budowane jako:

- a) konstrukcje nośne z profili walcowanych,
- b) konstrukcje blachownicowe,
- c) konstrukcje kratownicowe,
- d) konstrukcje mieszane.

Należy zauważyć, że stosowane w ubiegłym wieku węglowe stale konstrukcyjne o granicach plastyczności około 235–460 MPa coraz rzadziej wykorzystuje się w konstrukcjach nośnych niektórych grup urządzeń. W chwili obecnej wytrzymałość stali stosowanej np. w budowie wysięgników żurawi przenośnych lub żurawi samojezdnych jest niemal trzykrotnie wyższa od stosowanej niegdyś popularnie stali 18G2A. Wykorzystywanie stali o wysokich własnościach wytrzymałościowych jest związane z pewnymi uwarunkowaniami co do projektowania, wytwarzania, jak również fazy eksploatacji.

Tabela 1. Przykładowe gatunki stali stosowane na konstrukcje nośne żurawi samojezdnych

Gatunek stali	Oznaczenie	Dokument odniesienia	Granica plastyczności [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]
konstrukcyjna	S235J	EN 10025-2	≥235	≥360
	S355J	EN 10025-2	≥355	≥510
walcowana termomechanicznie	S355MC	EN 10149-2	≥355	≥460
	S700MC	EN 10149-2	≥700	≥750
drobnoziarnista normalizowana stal konstrukcyjna	S460N	EN10025-3	≥460	≥550
wysokowytrzymała stal konstrukcyjna	S460Q	EN10025-6	≥460	≥550
	S690Q	EN 10025-6	≥690	≥790
	S890Q	EN 10025-6	≥890	≥940
	S960Q	EN 10025-6	≥960	≥980
	S1100Q	zbieżne z EN 10025-6	≥1100	≥1200

UWAGA!

Ze względu na to, że część urządzeń (np. wózki jezdniowe podnośnikowe z mechanicznym napędem podnoszenia, podesty ruchome, żurawie czy przenośniki do celów rekreacyjno-rozrywkowych) może być wykorzystywana do pracy na otwartej przestrzeni, są one narażone zarówno na działanie środowiska korozyjnego, jak i niskich temperatur. Praca w takich warunkach może powodować spadek własności wytrzymałościowych, co w skrajnym przypadku może doprowadzić do nagłego uszkodzenia elementów nośnych.



Rysunek 3. Pęknięcie konstrukcji nośnej przenośnika do celów rekreacyjno-rozrywkowych

Kolejnym krokiem związanym z oceną stanu technicznego powinny być **WSTĘPNE OGLĘDZINY** konstrukcji nośnej.

Osoba dokonująca oględzin konstrukcji nośnej weryfikuje ją pod kątem występowania **zewnętrznych objawów uszkodzenia**, czyli np. pęknięć powierzchniowych, odspojonych elementów, ognisk korozji itp. Czynność ta nie może być oczywiście traktowana jako badanie wizualne, w rozumieniu badań NDT, natomiast pozwala na wyeliminowanie podstawowych defektów przed prowadzeniem dalszych, kosztowniejszych czynności.



Rysunek 4. Pęknięcia płyty czołowej (karetki) wózka wykryte w trakcie prowadzenia badań NDT

Podczas dokonywania oględzin konstrukcji nośnej należy zweryfikować również poprawność **POŁĄCZEŃ ROZŁĄCZNYCH** (śrubowych czy sworzniowych), w tym momentów dokręcenia śrub, oraz zweryfikować stan **POŁĄCZEŃ NIEROZŁĄCZNYCH** (nitowanych czy spawanych).



Rysunek 5. Połączenia śrubowe w konstrukcji suwnicy

Ocena stanu technicznego **POŁĄCZEŃ ŚRUBOWYCH (rozłącznych)** powinna polegać na wymianie całości użytych zestawów (śruba, nakrętka, podkładka). Osiąga się w ten sposób pewność połączeń, przywracając własności mechaniczne do stanu pierwotnego. Takie rozwiązanie nie ma znaczącego wpływu na ekonomiczną stronę wykonywania oceny stanu technicznego całości ustroju nośnego urządzenia.

UWAGA!

Ze względu na różne właściwości mechaniczne zestawów śrubowych nie należy stosować ich zamiennie lub łączyć.

Należy wskazać również na pojawiające się w instrukcjach zapisy odnośnie do momentu dokręcenia połączenia, jak również możliwość tylko kilkukrotnego dokręcania połączenia. W przypadku stosowania połączeń śrubowych należy również zwrócić uwagę na stan otworu pod śrubę. Weryfikacji podlegają nadmierne wyoblenie, pęknięcia, korozja itp.

Tabela 2. Przykłady momentów dokręcenia połączeń śrubowych klasy 10.9 (PN-91/M-06517)

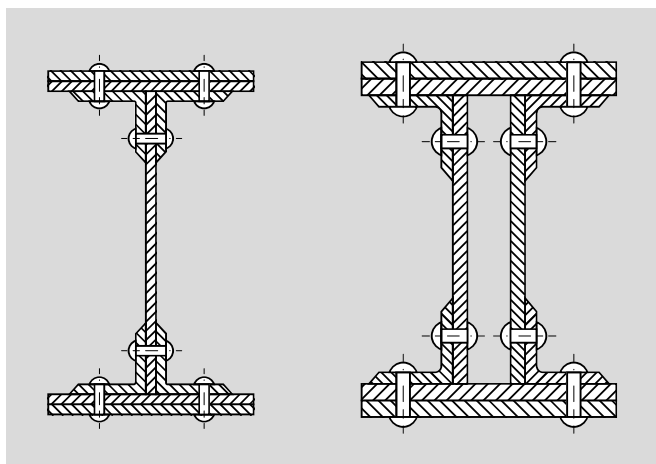
Gwint śruby	Powierzchnia przekroju rdzenia	Siła sprężająca	Moment sprężający	
			Smarowanie gwintu dwusiarczkiem molibdenu MoS ₂	Smarowanie gwintu smarem stałym
	mm ²	kN	Nm	
M12	84,3	57	100	120
M16	157	106	250	350
M20	245	166	450	600
M24	353	239	800	1100
M30	561	379	1650	2200

NITOWANIE to proces technologiczny wykorzystywany w technice do uzyskania połączeń nierozłącznych pośrednich. Połączenie kilku części w zespół uzyskiwane jest przez zastosowanie łączników, czyli nitów.

Nity mogą być zamykane dwojako:

- na zimno,
- na gorąco.

W konstrukcjach nośnych urządzeń transportu bliskiego najczęściej można spotkać połączenia mocne, obciążone dużymi siłami.



Rysunek 6. Przekroje blachownic nitowanych: a) płaskiej, b) skrzynkowej

POŁĄCZENIA NITOWE (nierozłączne) są krytycznymi miejscami konstrukcji nośnych i w zasadniczym stopniu decydują o jej trwałości zmęczeniowej.

Pod wpływem okresowo lub nieokresowo zmiennych naprężeń i odkształceń następuje obniżenie wytrzymałości oraz trwałości połączeń. Jego efektem jest zniszczenie połączenia w wyniku procesu pęknięcia. Zmęczenie materiału w strefie połączeń w początkowej fazie jest zjawiskiem lokalnym w zakresie mikrostruktury, a w końcowej fazie jest zjawiskiem globalnym, związanym z całkowitym zniszczeniem często złożonych, wielkogabarytowych struktur.

O wytrzymałości połączeń nitowych (w tym wytrzymałości zmęczeniowej) decyduje wiele czynników konstrukcyjnych, technologicznych i materiałowych. Czynniki konstrukcyjne to:

- typ połączenia (np. zakładkowe, nakładkowe jedno- lub dwustronne),
- wielkość szwu nitowego,
- grubość łączonych blach,
- średnica nitów,
- podziałka rozmieszczenia nitów.

Decydujący wpływ na trwałość zmęczeniową ma także **technologia zamykania nitu**. Liczne przypadki awarii spowodowanych pękaniem zmęczeniowym wskazują, że spełnienie wymagań w zakresie odpowiedniego poziomu niezawodności, trwałości i bezpieczeństwa eksploatacji zależy od pełnego poznania zagadnień dotyczących zmęczenia materiałów i konstrukcji.

W przypadku **POŁĄCZEŃ SWORZNIOWYCH (rozłącznych)** ocena stanu technicznego polega na ocenie poszczególnych elementów takiego połączenia. Połączenia sworzniowe są z reguły stosowane w połączeniach ruchowych (wahliwych, przegubowych). W związku z tym wstępnie należy ocenić, czy praca takiego połączenia jest prawidłowa.

UWAGA!

Może się bowiem zdarzyć, że przez lata pracy połączenie, które wykonane zostało jako ciasne, zaczyna pracować jako luźne. Sytuacja taka jest nieprawidłowa ze względu na zupełnie inny sposób obciążenia połączenia niż zakładany przez wytwórcę (rozkład sił, obciążeń oraz naprężeń).

W przypadku takiego połączenia ocenie podlegają sworznie, zabezpieczenia i otwory. Prowadzone w tym zakresie działania mogą skutkować potrzebą wymiany elementów składowych połączenia, np. zawleczek lub pierścieni osadycznych. W wielu przypadkach do prawidłowej weryfikacji wymagane jest odciążenie węzła, np. poprzez zluźnienie lub demontaż lin nośnych w dźwigach.



Rysunek 7. Przykład połączenia sworzniowego na linach nośnych zawieszania kabiny lub przeciwwagi

Większość konstrukcji nośnych urządzeń transportu bliskiego składa się również z połączeń NIEROZŁĄCZNYCH SPAJANYCH, które również podlegają ocenie w trakcie prowadzenia całości procesu. W poprzednich częściach opisano rodzaje badań nieniszczących, które pozwalają na właściwą ocenę takich połączeń. Brakującym ogniwem są tutaj właściwie przyjęte kryteria akceptacji, bez których nie da się prawidłowo wykonać badań diagnostycznych połączenia spawanego. W związku z tym, że przez lata zmieniały się przepisy, normy, warunki techniczne, ważne jest, aby przyjąć właściwe kryteria dotyczące oceny ustrojów nośnych. Może bowiem dojść do sytuacji, że jako kryterium akceptacji przyjmimy wymagania wyższe, niż przyjął producent w fazie wytwarzania. Takie podejście może spowodować, że wykonaną właściwie spoinę zakwalifikujemy do naprawy, co niepotrzebnie spowoduje wzrost kosztu procesu oraz niepotrzebny przestój urządzenia, którego konsekwencją będą niepotrzebne straty wynikające ze wstrzymania procesu produkcyjnego.

Analizując dokumentację przykładowych ustrojów nośnych, należy stwierdzić, że większość połączeń nierozłącznych, w głównej mierze ze względu na poziom obciążenia, była wykonywana w klasie „C” i „D” wg normy PN-88/M-06516. Bardzo rzadko można znaleźć zapisy o zastosowaniu klasy „B”.

Wraz z rozwojem branży oraz optymalizowaniem postaci konstrukcyjnej ustrojów nośnych coraz częściej spotyka się w ustrojach nośnych określenie poziomu jakości złącza spawanego „B” i „C” wg normy PN-EN ISO 5817.

Tabela 3. Dobór klas w zależności od poziomu obciążenia, rodzaju ustroju nośnego oraz sposobu projektowania (PN-88/M-06516)

Rodzaj ustroju nośnego dźwignicy	Poziom obciążenia złącza spawanego		
	poniżej 50% lub złącza nieobciążane wytrzymałościowo	50–80%	powyżej 80%
	klasa złącza spawanego		
Ustroje nośne lub ich elementy projektowane ze względu na warunek wytrzymałości	E	E	E1 lub D
Ustroje nośne lub ich elementy projektowane ze względu na warunek trwałości zaliczane do grup natężenia pracy 1U, 2U, 3U, 4U	E	D	A i C
Ustroje nośne lub ich elementy projektowane ze względu na warunek trwałości zaliczane do grup natężenia pracy 5U, 6U	E	C	A i B
1) dla spoin ściskanych i ścinanych			

Według wymagań normy **PN-88/M-06516** każde złącze spawane winno być poddane kontroli. Zakres metod **kontroli jakości złącza spawanego** w zależności od klasy ilustruje tabela 4.

Tabela 4. Zakres metod kontroli jakości złącza spawanego w zależności od klasy złącza (PN-88/M-06516)

Klasa złącza	Metoda procentowa przeprowadzenia kontroli jakości			
	badania wizualne		badania radiograficzne ²⁾ lub badania ultradźwiękowe ³⁾	
	zakres kontroli	dopuszczalna klasa wadliwości	zakres kontroli	dopuszczalna klasa wadliwości
A	100 %	W1 (W2) ¹⁾	100 %	R1 lub U1
B		W2 (W3) ¹⁾	50 %	R2 lub U2
C		W3 (W4) ¹⁾	25 %	R3 lub U3
D		W4	10 %	R4 lub U4
E		W4	– ⁴⁾	– ⁴⁾

¹⁾ dotyczy spoin pachwinowych i spoin czołowych w złączach teowych

²⁾ nie dotyczy spoin pachwinowych i spoin czołowych w złączach teowych

³⁾ nie dotyczy spoin pachwinowych i spoin czołowych w złączach teowych o grubości poniżej 10 mm

⁴⁾ nie jest wymagana kontrola radiograficzna lub ultradźwiękowa

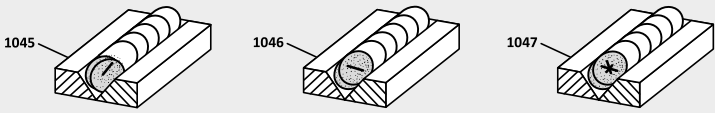
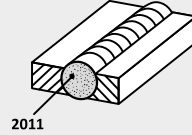
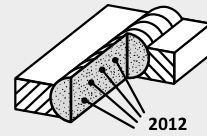
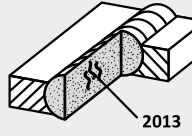
W praktyce do określania poziomów akceptacji spoin wykorzystywana jest również norma **PN-EN ISO 6520-1** „Spawanie i procesy pokrewne – Klasyfikacja geometrycznych **niezgodności spawalniczych w metalach** – Część 1”.

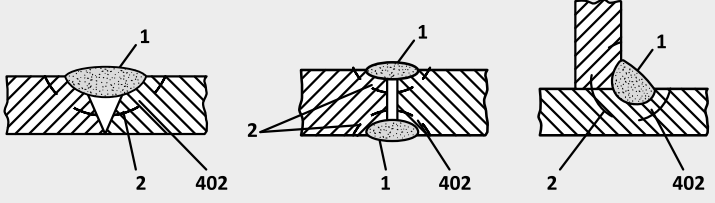
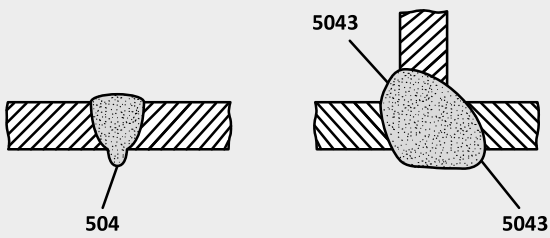
Norma PN-EN ISO 6520-1 jest podstawą do dokładnej klasyfikacji i opisu **niezgodności spawalniczych** i opiera się na przyporządkowaniu do sześciu grup głównych:

- pęknięcia,
- pustki,
- wtrącenia stałe,
- przyklejenie i braki przetopu,
- niezgodności kształtu i wymiaru,
- niezgodności spawalnicze różnorodne.

Każda z tych grup charakteryzuje się innymi wadami spoiny. Weryfikacja złącza spawanego polega na ocenie niezgodności spawalniczych, które celem uniknięcia niejasności definiowane są w normie poprzez podanie opisu i ewentualnego szkicu wadliwego złącza.

Tabela 5. Przykłady sklasyfikowania niezgodności spawalniczych (PN-EN ISO 6520-1)

Numer odniesienia	Określenie i objaśnienie	Szkic
Grupa nr 1. Pęknięcia		
100	Pęknięcie – niezgodność spawalnicza spowodowana miejscowym rozerwaniem w stanie stałym, które może być spowodowane chłodzeniem lub naprężeniami	
104	Pęknięcia w kraterze Pęknięcie w kraterze na końcu spoiny, które może być:	
1045	- podłużne	
1046	- poprzeczne	
1047	- promieniowe (pęknięcie gwiazdiste)	
Grupa nr 2. Pustki		
2011	Pęcherz gazowy Pustka gazowa zasadniczo o kształcie kulistym	
2012	Pęcherze równomiernie rozłożone Pewna liczba pęcherzy gazowych w przybliżeniu równomiernie rozłożona w metalu spoiny. Nie należy ich mylić z łańcuchem pęcherzy (2014) i gniazdem pęcherzy (2013)	
2013	Skupisko porowatości (umiejscowione) Grupa pęcherzy gazowych mająca przypadkowy rozkład	
Grupa nr 3. Wtrącenia stałe		
304	Wtrącenie metaliczne Wtrącenie stałe w postaci obcego metalu Wtrąceniami metalicznymi mogą być:	
3041	- wolfram	
3042	- miedź	
3043	- inny metal	

Numer odniesienia	Określenie i objaśnienie	Szkic
Grupa nr 4. Przyklejenie i brak przetopu		
402	Niepełny przetop (brak przetopu) Różnica między rzeczywistym i nominalnym przetopem	 <p>1) rzeczywisty przetop 2) nominalny przetop</p>
Grupa nr 5. Niezgodności kształtu i wymiarów		
504	Wyciek Wzmocnienie spoiny czołowej po stronie grani jest za duże. Może to być:	
5041	- wyciek miejscowy	
5042	- wyciek ciągły	
5043	- przetopienie na wylot	
Grupa 6. Niezgodności spawalnicze różnorodne		
602	Rozprysk Cząstki stopiwa lub spoiwa rozpryskiwane podczas spawania i przyklejające się do powierzchni materiału podstawowego lub skrzepniętego metalu spoiny	

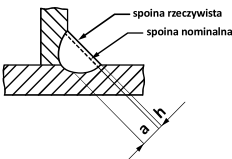
W chwili obecnej stosowaną w celu wykonywania zadowolających złączy spawanych normą jest **PN-EN ISO 5817** – „Spawanie – Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązką) – Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych”. Norma określa trzy podstawowe poziomy jakości.

Tabela 6. Poziomy jakości złączy spawanych (PN-EN ISO 5817)

Oznaczenie	Poziom jakości
D	wymagania łagodne
C	wymagania średnie
B	wymagania ostre

Oznaczenia D, C i B jednoznacznie określają poziomy jakości, które obejmują podstawowe zastosowania praktyczne. W przypadku ustrojów nośnych urządzeń transportu bliskiego przyjmuje się zazwyczaj, że dla poszczególnego złącza spawanego określenie jednego poziomu jakości, który obejmuje wymiary graniczne niezgodności spawalniczych, jest wystarczające. Złącza spawane należy zwykle oceniać indywidualnie dla każdego rodzaju niezgodności spawalniczej.

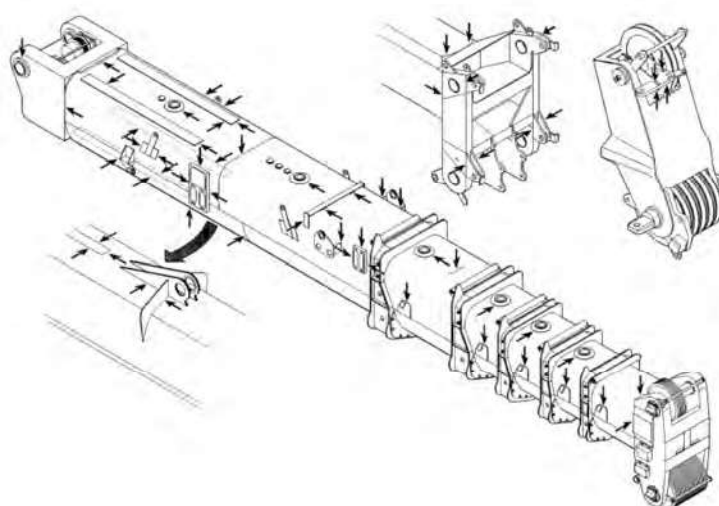
Tabela 7. Wartości graniczne niezgodności spawalniczych (PN-EN ISO 5817)

Nr	Określenie niezgodności spawalniczej	Odniesienie do ISO 6520	Komentarze	t mm	Wymiary graniczne niezgodności spawalniczych		
					Wymagania łagodne D	Wymagania średnie C	Wymagania ostre B
1. Niezgodności spawalnicze powierzchniowe							
1.1	Pęknięcie	100	-	$\geq 0,5$	Nie dopuszcza się		
1.2	Pęknięcie w kraterze	104	-	$\geq 0,5$	Dopuszcza się	Nie dopuszcza się	
1.3	Por powierzchniowy	2017	Maksymalny wymiar pojedynczego pęcherza dla: - spoin czołowych - spoin pachwinowych	od 0,5 do 3	$d \leq 0,3 s$ $d \leq 0,3 a$	Nie dopuszcza się	
			Maksymalny wymiar pojedynczego pęcherza dla: - spoin czołowych - spoin pachwinowych	> 3	$d \leq 0,3 s$ ale max 3 mm $d \leq 0,3 a$ ale max 3 mm	$d \leq 0,2 s$ ale max 2 mm $d \leq 0,2 a$ ale max 2 mm	Nie dopuszcza się
1.21	Nadmierna grubość spoiny pachwinowej	5214	Rzeczywista grubość spoiny pachwinowej jest zbyt duża 	$\geq 0,5$	Nieograniczona	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,2 a$ ale max 4 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,15 a$ ale max 3 mm
2. Niezgodności spawalnicze wewnętrzne							
2.1	Pęknięcia	100	Wszelkie typy pęknięć z wyjątkiem mikropęknięć i pęknięć w kraterze	$\geq 0,5$	Nie dopuszcza się		
2.2	Mikropęknięcia	1001	Pęknięcia widoczne zazwyczaj tylko pod mikroskopem (50x)	$\geq 0,5$	Dopuszcza się	Akceptacja zależna od rodzaju materiału podstawowego, ze szczególnym uwzględnieniem skłonności do pęknięcia	
2.11	Wtrącenia miedzi	3042		$\geq 0,5$	Nie dopuszcza się		
3. Niezgodności spawalnicze geometrii złącza							
3.1	Przesunięcie liniowe	507	Wartości graniczne odnoszące się do odchyień od prawidłowego położenia. Jeżeli nie określono inaczej, prawidłowe położenie to takie, gdy osie pokrywają się.	od 0,5 do 3	$h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,25 t$	$h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,15 t$	$h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,1 t$

Należy jednak wyraźnie podkreślić, że trudno w sposób jednoznaczny dokonać porównania cytowanych powyżej norm. W związku z tym celem prawidłowej oceny połączeń nierozłącznych urządzeń nośnych, proponuje się stosować tabele porównawcze, które mają ułatwić przejście od wymagań norm starych do najnowszych. Oczywiście wykazanie spełnienia wymagań związanych z określeniem niezgodności spawalniczych stawianych urządzeniom nośnym urządzeń wiąże się z wykorzystaniem odpowiednich metod badawczych, które zostały omówione w poprzednich artykułach dla ETAPÓW od 1 do 4.

Wskazania miejsc, w których należy przeprowadzić badania NDT oraz rodzaju i zakresu tychże badań, spoczywa na osobie kompetentnej. Wynika to z faktu różnorodności konstrukcji nośnych wytwarzanych urządzeń.

W kolejnej 5 części cyklu artykułów omówiona zostanie metoda wspierająca wybór miejsc do badań NDT oraz inne elementy oceny stanu technicznego, takie jak korozja, odkształcenia trwałe czy miejsca koncentracji naprężeń.



Rysunek 8. Przykładowe miejsca kontroli spoin na wysięgnikach blachownicowych