

Tomasz GIĘTKA<sup>1</sup>, Krzysztof CIECHACKI<sup>1</sup>, Marcin CHUDZIŃSKI<sup>2</sup>

e-mail: tgietka@utp.edu.pl

<sup>1</sup> Zakład Inżynierii Materiałowej, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz<sup>2</sup> MEKRO Sp. z o.o., 86-105 Świecie

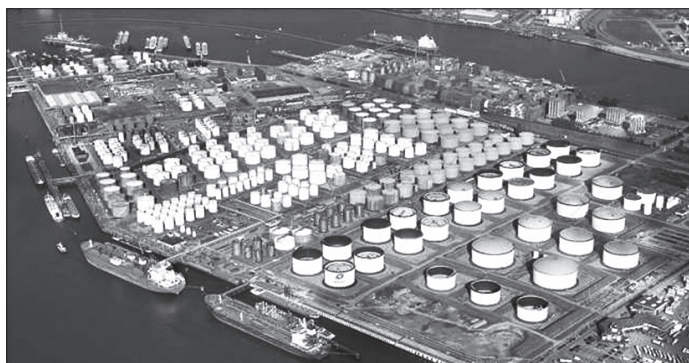
## Kryteria wyboru technologii spawania zbiornika magazynowego

### Wprowadzenie

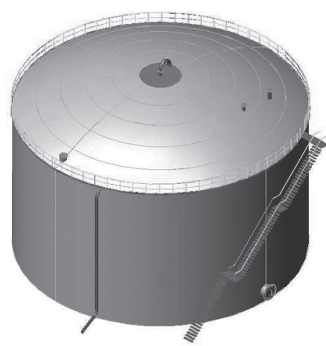
Wielkogabarytowe zbiorniki magazynowe wykonywane są wyłącznie na miejscu eksploatacji, z czym wiąże się ograniczenia możliwości do zastosowania metod spawania oraz konieczność spawania w niedogodnych pozycjach: naściennej i pionowej. Wśród metod spawania, które można zastosować, najefektywniejszą jest metoda spawania łukiem krytym pod topnikiem, która wymaga specjalistycznych urządzeń (umożliwiających spawanie w pozycji naściennej) oraz opracowania skutecznej technologii spawania. Spawanie jest tzw. procesem specjalnym, dlatego wymaga walidacji. Zasadniczą częścią tej walidacji jest sprawdzenie technologii spawania w drodze kwalifikacji.

Zbiorniki magazynowe to naczynia używane do przechowywania cieczy oraz niekiedy gazów pod ciśnieniem atmosferycznym lub niewielkim nadciśnieniem. Podlegają często wielu regulacjom i przepisom dotyczącym ochrony środowiska, głównie w zależności od przechowywanego czynnika [Correia i Ferraresi, 2007; Makowieckaja, 2011; Gaye, 2000].

Zbiorniki magazynowe używane są do przechowywania m.in. chemikaliów, olejów, paliw i wody w przemyśle papierniczym, spożywczym, farmaceutycznym, przetwórstwa tworzyw sztucznych i in. Zbiorniki magazynowe najczęściej występują jako tzw. *tank farmy*, czyli terminale magazynowe obejmujące wiele pogrupowanych zbiorników na różne media. Przykładową *tank farmę* pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Terminal magazynowy Odfjell w Rotterdamie [DEP Specification, 2011]



Rys. 2. Widok typowego zbiornika magazynowego na paliwo płynne [CDSL, 2012]

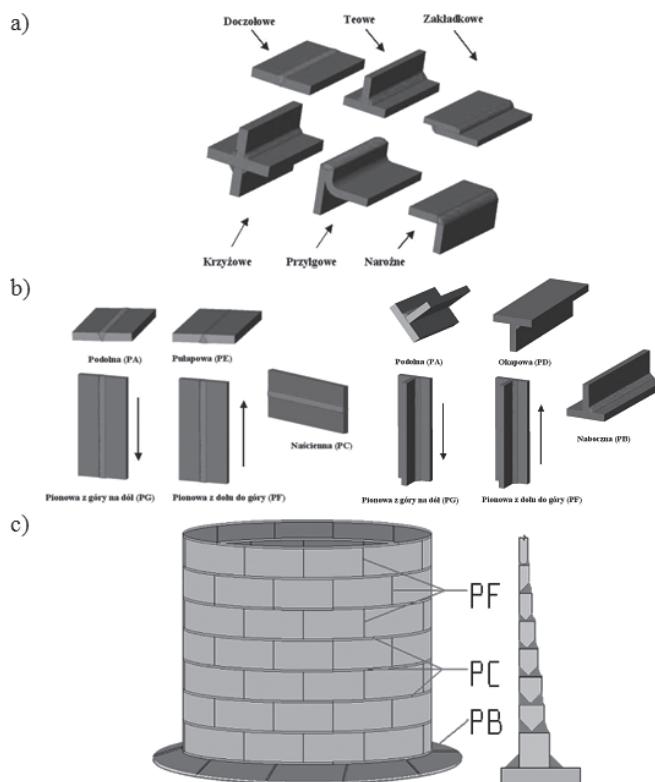
Najczęściej spotykane zbiorniki magazynowe paliw płynnych mają pojemności  $V = 10\,000 \div 30\,000\text{ m}^3$  (Rys. 2). Projektowane są w postaci stalowych walców o osi pionowej z płaskim dnem i dachem stałym lub pływającym. Wymagania dotyczące materiału, projektowania, wytwarzania, wznoszenia, badań i kontroli zawarto w normie [PN-EN 14015, 2010].

Dobór metod (procesów) spawania jest kluczowym elementem decydującym o szybkości i jakości procesu wytwarzania każdej konstrukcji spawanej. Z uwagi na

warunki atmosferyczne w miejscu montażu zbiornika magazynowego w praktyce możliwe do stosowania są następujące procesy spawania [Correia i Ferraresi, 2007; DEP Specification, 2011]:

- spawanie łukowe elektrodą otuloną (SMAW, proces 111 wg PN-EN ISO 4063);
- spawanie łukowe elektrodą topliwą w osłonach (GMAW/FCAW, proces 135/136 wg PN-EN ISO 4063);
- spawanie łukiem krytym drutem elektrodowym (SAW, proces 121 wg PN-EN ISO 4063).

W zbiorniku magazynowym występują głównie złącza doczołowe, teowe oraz narożne. Z punktu widzenia sumarycznej ilości złączy spawanych, największa ich część, występuje na płaszczu zbiornika. Są to złącza doczołowe wykonywane w pozycjach naściennej PC (zdecydowana większość) oraz pionowej PF, a także złącze teowe ze spoiną pachwinową wykonywaną w pozycji nabocznej PB (pomiędzy pierścieniem bazowym-obrzeżnym a płaszczem). Typ złączy i rodzaje pozycji występujących podczas wykonywania zbiornika przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Zbiornik magazynowy na paliwo płynne: a) typy złączy spawanych, b) pozycje spawania, c) złącza występujące w zbiorniku [CDSL, 2012].

### Metody spawania zbiorników magazynowych

Dobór metod (procesów) spawania jest kluczowym elementem decydującym o szybkości i jakości procesu wytwarzania każdej konstrukcji spawanej. Z uwagi na warunki atmosferyczne w miejscu montażu zbiornika magazynowego w praktyce możliwe do stosowania są następujące procesy spawania [Correia i Ferraresi, 2007; Pilarczyk, 2005]:

- spawanie łukowe elektrodą otuloną (SMAW, proces 111 wg PN-EN ISO 4063);
- spawanie łukowe elektrodą topliwą w osłonach (GMAW/FCAW, proces 135/136 wg PN-EN ISO 4063);
- spawanie łukiem krytym drutem elektrodowym (SAW, proces 121 wg PN-EN ISO 4063);

W tab. 1 zamieszczono porównanie metod spawania zbiorników magazynowych w świetle przyjętych cech.

Z porównania wynika, że spawanie metodą 111 (elektrodą otuloną) ma najkorzystniejszą ocenę w 4 z 8 kryteriów oraz 1 najniższą. Spawanie metodami 135 i 136 mają po 2 najwyższe oceny oraz 1 lub 2 (dla metody 136) najniższe. Natomiast spawanie łukiem krytym 121 ma 5 najwyższych ocen, ale też 2 najniższe.

W zakresie wydajności najkorzystniejsza jest metoda 121, nawet 5-cio krotnie bardziej wydajna od najmniej wydajnej metody 111. Metoda 121 daje też najwyższe jakościowo spoiny i ma najmniejszą skłonność do tworzenia niezgodności spawalniczych.

Tab. 1. Porównanie metod spawania zbiorników magazynowych

Cecha	Metoda spawania wg ISO 4063			
	111	135	136	121
Wydajność [kg stopiwa/h]	1-3	2-8	2-10	5-15
Jakość spoin	Wysoka	Średnia	Wysoka	Wysoka
Podatność na powstawanie niezgodności	Umiarkowana (zażużlenia, pory)	Umiarkowana (przyklejenia, pory)	Umiarkowana (pory)	Mała (pory, gdy wilgotny topnik)
Pozycje spawania	Wszystkie	Wszystkie	Wszystkie	Tylko PA, PB (PC)
Spawanie w warunkach polowych	Brak ograniczeń	Niezalecane (zdmuchiwanie osłony gazowej)	Niezalecane (zdmuchiwanie osłony gazowej)	Brak ograniczeń
Koszt materiałów dodatkowych	Wysoki	Najniższy	Najwyższy	Wysoki
Koszt urządzenia do spawania	Najniższy	Przeciętny	Przeciętny	Najwyższy
Wpływ procesu na obsługującego i otoczenie	Szkodliwy (pyły i gazy)	B. szkodliwy (gazy, pyły i dymy oraz promieniowanie)	B. szkodliwy (gazy, pyły i dymy oraz promieniowanie)	Najmniej szkodliwy

Wszystkie metody, oprócz metody 121, umożliwiają spawanie we wszystkich pozycjach, co jest bardzo ważne podczas spawania w warunkach montażowych. Jednak spawanie w warunkach montażowych nie jest zalecane dla metod 135 i 136 – z uwagi na zdmuchiwanie osłony gazowej konieczne jest skuteczne osłanianie strefy spawania. Koszt materiałów dodatkowych jest najwyższy dla metody 136, a najniższy dla metody 135.

Koszy urządzenia do spawania jest najniższy dla metody 111, a najwyższy dla metody 121. W zakresie wpływu procesu na obsługującego i otoczenie najmniej szkodliwym procesem jest metoda 121, a najbardziej szkodliwym 135 i 136, podczas których emitowane są duże ilości gazów, pyłów i dymów oraz promieniowania.

Jedną z najniższych ocen w przypadku metody 121 dotyczy spawania łukiem krytym w pozycjach przymusowych, w których nie jest ono zalecane z uwagi na trudność utrzymania jeziora spawalniczego o dużej objętości, trudności z podtrzymaniem topnika oraz usuwaniem żużla. Znane są jednak zastosowania spawania łukiem krytym w pozycji naściennej. Przy czym wymaga to stosowania wyspecjalizowanych urządzeń oraz specjalnej technologii spawania.

Koszt urządzenia (druga z najniższych ocen dla metody 121) w przypadku znacznej ilości złączy nie jest istotnym kryterium w porównaniu metod. Mając na uwadze powyższe, spawanie metodą 121 wydaje się być optymalnym procesem dla długich, prostoliniowych spoin wykonywanych w pozycji naściennej w warunkach pracy na budowie.

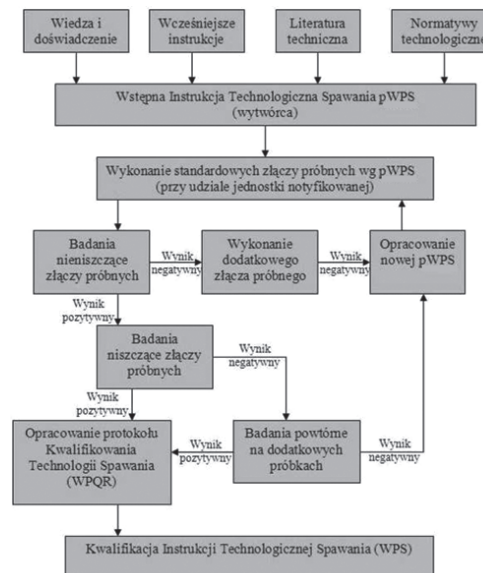
### Metoda kwalifikacji technologii spawania

Z dostępnych 5 metod kwalifikacji technologii spawania nie mogą być zastosowane do wykonywania zbiorników następujące:

- kwalifikowanie na podstawie zbadanych materiałów dodatkowych (ponieważ materiał zbiornika – rodzimy jest spoza grup materiałowych 1.1 i 8 wg TR ISO 15608);
- kwalifikowanie na podstawie wcześniej nabytego doświadczenia w spawaniu (z uwagi na brak kompleksowych danych na temat jakości złączy wykonywanych według opracowanej technologii i danych z bezawaryjnej eksploatacji złączy wykonywanych przy użyciu opracowanej technologii);

– kwalifikowanie na podstawie standardowej technologii spawania (ponieważ nie ma dostępnych wcześniej kwalifikowanych technologii odpowiadających opracowanej).

Z pozostałych dwóch metod kwalifikacji wybrano metodę kwalifikacji przez badania technologii spawania według PN-EN ISO 15614-1 – typowym złączem doczołowym blach ze spoiną czołową, ponieważ nie ma konieczności zastosowania do kwalifikacji złączy specjalnych. Algorytm kwalifikacji przedstawiono na rys. 4. Stosownie do pożądanego zakresu kwalifikacji należy przyjąć grubość blach złącza próbnego.



Rys. 4. Algorytm kwalifikowania technologii spawania poprzez badanie [Pilarczyk., 2005]

### Podsumowanie i wnioski

Największą korzyść z optymalizacji procesu wytwarzania w zakresie spawania można uzyskać dla wielkogabarytowych cylindrycznych zbiorników magazynowych. Konstrukcje takie wykonywane są wyłącznie na miejscu eksploatacji, z czym wiąże się ograniczenie w zakresie możliwych do zastosowania metod spawania oraz konieczność spawania w niedogodnych pozycjach: naściennej PC i pionowej PF.

Zauważyć należy, że łączna długość złączy obwodowych jest blisko 10-krotnie większa od długości złączy pionowych i stanowi ponad połowę wszystkich złączy spawanych zbiornika.

Wśród metod spawania, które można zastosować, najefektywniejszą jest metoda spawania łukiem krytym pod topnikiem (121).

Wysokie koszty specjalistycznych urządzeń oraz opracowania dodatkowej technologii spawania mogą być w całości zamortyzowane podczas spawania długich prostoliniowych spoin wykonywanych w pozycji naściennej przy budowie wielkogabarytowych zbiorników magazynowych.

### LITERATURA

- CDSL, 2012. *CAD Drafting Services Lanka* - an Engineering drawings outsourcing firm in Sri Lanka (05.2012); <http://cadserviceslanka.com>
- Correia D.S., Ferraresi V.A., 2007. Welding Process selection through a double criteria: Operational costs and non-quality costs, *J. of Materials Processing Technology*, 184, 47-55
- DEP Specification, 2011. *Vertical Steel Storage Tanks – selection design and construction*. Schell Group of Companies
- Gayer W., 2000. *Handbook of storage tank systems*. Wyd. Marcel Dekker, New York, 2000.
- Makowiecka O.K., 2011. Obecna sytuacja na rynku głównych materiałów konstrukcyjnych i techniki spawalniczej. Perspektywy rozwoju, *Biul. Inst. Spaw.* nr 4, 39-51
- Pilarczyk J. (red.), 2005. *Poradnik Inżyniera, Spawalnictwo t. 2*, WNT, Warszawa
- PN-EN 14015:2010 – *Specyfikacja dotycząca projektowania i wytwarzania na miejscu zbiorników pionowych, o przekroju kołowym, z dnem płaskim, naziemnych, stalowych spawanych, na cieple o temperaturze otoczenia i wyższej*