

# Koncepcja usprawnienia procesu spawania sekcji przestrzennych jednostek wielogabarytowych w stoczni X

The concept of improving the welding process of large-size unit spatial at the shipyard X with welding methods

## Streszczenie

Celem artykułu jest przedstawienie koncepcji usprawnienia procesu spawania sekcji przestrzennych w kadłubie statku. Przedmiotem analizy projektu będzie styk międzyblokowy, który pospawany zostanie dwoma różnymi metodami. W artykule przedstawione zostaną rozwiązania techniczne wspomagające procesy spawalnicze oraz pomiary i obliczenia umożliwiające porównanie obu metod spawania.

**Słowa kluczowe:** technologia spawania; optymalizacja technologii; konstrukcje spawane

## Abstract

The aim of the article is to present the concept of improving the welding process in the hull of the ship. The analysis of the project will contact, which will be welded with two different methods. The article presents technical support welding processes as well as measurements and calculations allowing comparison of both welding methods.

**Keywords:** welding procedure; welded structure; technology optimization

## Wstęp

Spawanie jest najbardziej pracochłonnym procesem w budowie kadłuba statku. Brak odpowiedniego zaplecza kadry spawaczy znacznie wydłuża czas wykonania projektu. Wiąże się to często z karami, jakie przedsiębiorstwo musi ponieść za opóźnione terminy wykonania. Aby zminimalizować straty w przedsiębiorstwie, powinno się podjąć analizę usprawnienia dotychczasowych metod spawania w różnych rejonach statku.

Jakość złącza wykonanego w procesie spawania można zazwyczaj ocenić dopiero dobie po jego zakończeniu. W wielu przypadkach, zwłaszcza na zmechanizowanych i zrobotyzowanych stanowiskach spawalniczych, jakość złącza powinna być oceniana w czasie jego wykonywania, bezpośrednio na stanowisku spawalniczym [1].

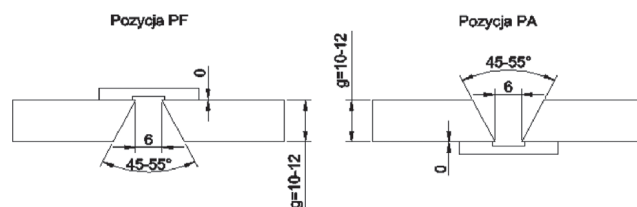
Rosnące wymagania odnośnie jakości wykonywanych złączy również wpływają na dynamiczny rozwój techniki spawalniczej, która ma gwarantować wysoką jakość otrzymywanych złączy oraz powtarzalność procesu [2].

Jednym z możliwych rozwiązań, które pozwala w zasadniczy sposób usprawnić dotychczasowy system spawania, jest zamiana spawania półautomatycznego na spawanie automatyczne. Dzięki zastosowaniu rozwiązań projektowych przedstawionych w niniejszym artykule będzie możliwa znacząca poprawa kosztów w Stoczni X.

## Koszty związane ze spawaniem sekcji przestrzennych kadłuba statku

Wpływ na wysokość kosztów spawania ma wiele czynników. Podstawowymi są: metoda spawania, grubość i rodzaj spawanego materiału, zastosowanie materiałów dodatkowych, pozycja spawania, wybór fazowania krawędzi [3].

Koszty spawania dzieli się na: koszty bezpośrednie, w których pod uwagę bierze się m.in.: zużycie materiałów spawalniczych, koszt robocizny, zużycie energii elektrycznej oraz koszty pośrednie (dotyczą np. zarządu, administracji, podatków itp.) [4].



**Rys. 1.** Podział styku do analizy kosztów spawania przed wprowadzeniem usprawnień, źródło: opracowanie na podstawie materiałów ze stoczni X

**Fig. 1.** The division of welding joint in terms of cost analysis before the improvement introduction, source: based on shipyard product catalogues

Dr inż. Ryszard Bielski; dr inż. Radosław Drozd – Politechnika Gdańska.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: rbi@zie.pg.gda.pl

Koszty spawalniczych materiałów dodatkowych stanowią zużyte druty elektrodowe, gazy osłonowe oraz podkłádki technologiczne.

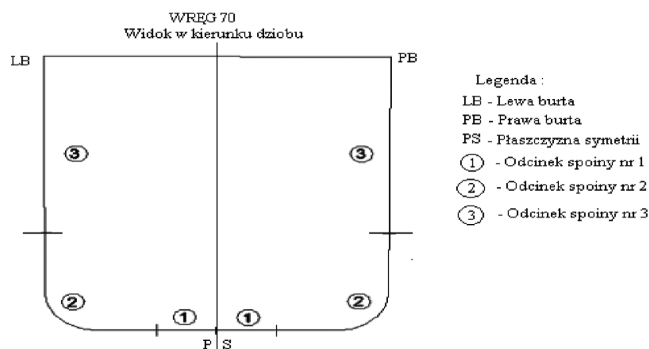
Do kosztów robocizny zalicza się czas potrzebny do wy-spawania złącza, który jest określony na podstawie pomiarów lub z odczytów zawartych w normatywach technologicznych.

Koszty energii elektrycznej szacuje się na podstawie mocy elektrycznej zależnej od wykonywanych prac spawalniczych oraz od rodzaju urządzenia. Z urządzeniami związane są koszty amortyzacji oraz remontów.

Analiza kosztów przykładowego procesu spawalniczego obejmuje styk poszycia zewnętrznego Bloku I (ładownia i rufa statku) z Blokiem II (siłownia i dziób statku).

Styk poszycia, przed wprowadzeniem usprawnień, jest spawany w pozycji (PA) oraz pionowej z dołu do góry (PF) 30 [6]. Wymienione pozycje spawania obrazuje rysunek 1.

Ze względu na występowanie trzech różnych grubości blach w analizowanym styku blokowym autorzy podzielili je na części: nr 1, nr 2, nr 3 [7]. Obliczenia poszczególnych odcinków spoiny dotyczą lewej i prawej burty (rys. 2).



Rys. 2. Podział styku do analizy kosztów spawania, Źródło: opracowanie na podstawie materiałów ze stoczni X

Fig. 2. The division of welding joint in terms of cost analysis, Source: Based on shipyard product catalogues

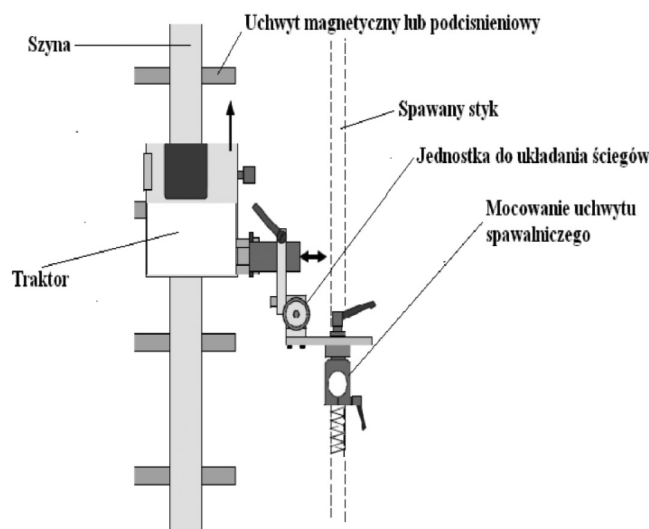
## Projekt zastosowania zautomatyzowanej metody spawania styków blokowych w kadłubie statku

### Przedstawienie metody spawania proponowanej w projekcie

Proponowany projekt polega na zastosowaniu automatycznego spawania metodą 136. Metoda ta będzie umożliwiawała spawaczowi szybkie i dokładne wykonanie spoin o różnych długościach na powierzchniach płaskich oraz zakrzywionych. Zastosowanie w projekcie nowoczesnego urządzenia pozwoli na wykonanie spawania złączy doczołowych, jak również pachwinowych.

Analizę kosztów przeprowadzono na przykładzie wielofunkcyjnego systemu Railtrac FWR 1000 (rys. 3), który będzie wykorzystywany w przedsiębiorstwie przy spawaniu i cięciu [5].

Podzespoły i elementy wskazanego urządzenia będą wykonane dla celów badawczych ze specjalnych materiałów, które pozwalają na ekstremalne warunki pracy. Obudowa



Rys. 3. Schemat urządzenia Railtrac FWR 1000 firmy ESAB, źródło: opracowanie na podstawie katalogów produktów stoczni X oraz firmy ESAB

Fig. 3. Scheme of a device Railtrac FWR 1000 ESAB company, source: Based on shipyard product catalogues and ESAB company

Tablica I. Wpływ wybranych parametrów procesu na geometrię modeli 3D (fragment) [3,4]

Table I. The impact of the selected process parameters on the geometry of 3D models (fragment)

Numery odcinków spoiny	Grubość blachy	Warstwa ściegu	Zakładana prędkość spawania	Prędkość spawania jednego metra spoiny	Długość odcinka	Czas 1 metra * długość odcinka styku	Czas w minutach
1	12 mm	1	15 cm / 1 min	6 min. 40 sek.	6,3 m	6,67 x 6,3	42,02
1	12 mm	2	20 cm / 1 min	5 min	6,3 m	5 x 6,3	31,50
1	12 mm	3	20 cm / 1 min	5 min	6,3 m	5 x 6,3	31,50
1	12 mm	4	20 cm / 1 min	5 min	6,3 m	5 x 6,3	31,50
2	10 mm	1	20 cm / 1 min	5 min	11,56 m	5 x 11,56	57,80
2	10 mm	2	30 cm / 1 min	3 min. 20 sek.	11,56 m	3,33 x 11,56	38,49
2	10 mm	3	30 cm / 1 min	3 min. 20 sek.	11,56 m	3,33 x 11,56	38,49
3	11 mm	1	20 cm / 1 min	5 min.	18,54 m	5 x 18,54	92,70
3	11 mm	2	30 cm / 1 min	3 min. 20 sek.	18,54 m	3,33 x 18,54	61,74
3	11 mm	3	30 cm / 1 min	3 min. 20 sek.	18,54 m	3,33 x 18,54	61,74
Σ							<b>418,47</b>

Źródło: Opracowanie na podstawie katalogów produktów stoczni X oraz firmy ESAB  
Source: Based on shipyard product catalogues and ESAB company

urządzenia będzie chroniła je przed odpryskami podczas spawania oraz warunkami atmosferycznymi.

W analizowanym projekcie traktor podczas procesu spawania będzie poruszał się po giętkiej aluminiowej szynie, która dopasowana będzie do kształtu powierzchni elementu spawanego. Szyna ta będzie zamontowana za pomocą magnesów lub podciśnieniowo. Kierunek spawania i parametry będą zależne od wprowadzonego programu do sterownika urządzenia. Operator urządzenia będzie korzystał z pilota nadzorującego i korygującego działanie maszyny.

#### Analiza kosztów wprowadzenia nowego systemu spawania

Analiza kosztów nowej metody spawania obejmuje sam styk, dlatego omówione zostaną tylko i wyłącznie różnice wynikające ze zmiany sposobu spawania.

Styk blokowy będzie spawany w pozycji pułapowej (PE) oraz pionowej z dołu do góry (PF) [6].

Waga spoiny wynosi 4,01 kg. Ze względu na tę samą metodę spawania (136) zużycie drutu potrzebnego do pospawania jest również takie same i wynosi 3,5 kg. Ilość podkładek ceramicznych wynosi 61 sztuk. Ze względu na automatyzację posuwu palnika półautomatu znacznie skraca się czas spawania, który z kolei ma wpływ na zużycie gazów (tabl. I) [8].

Ilość zużycia gazu oblicza się mnożąc sumę czasu spawania z przyjętym wskaźnikiem zużycia l/m, tj.

$$487,47 \text{ min} \times 18 \text{ l/min} = 8774,46 \text{ litrów gazu}$$

$$8774,46 : 1000 = 8,8 \text{ m}^3$$

Nowe koszty materiałów dodatkowych użytych do spawania styku Bloków I i II (tabl. II).

**Tablica II.** Koszty materiałów dodatkowych po wprowadzeniu usprawnienia

**Table II.** Costs of additional materials after the improvement introduction

Koszty materiału dodatkowego	JM	Potrzebna ilość	Średni koszt jednostkowy	Średni koszt całkowity
Drut spawalniczy OK. TUBROD 15.14 1,2	kg	3,5	7,10 zł	24,85 zł
Podkładka ceramiczna	szt	61	1,90 zł	115,90 zł
Mieszanka AR CO <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	8,8	7,90 zł	69,52 zł
			SUMA	<b>210,27 zł</b>

Źródło: Opracowanie na podstawie katalogów produktów stoczni X oraz firmy ESAB  
Source: Based on shipyard product catalogues and ESAB company

**Tablica III.** Koszty energii elektrycznej po wprowadzeniu usprawnienia

**Table III.** The cost of electricity after the improvement introduction

Przyjęte parametry spawania wg wewnętrznej procedury spawania (WPS)	
Natężenie prądu	180 A
Napięcie prądu	28 V
Czas spawania	8,12 h
Średni koszt energii za 1 kWh	0,62 zł
Zużycie prądu = natężenie x napięcie x czas	180 A x 28 V x 8,12 h = 40,924 kWh
Zużycie prądu	180 A x 28 V x 8,12 h = 40,924 kWh

Źródło: Opracowanie na podstawie katalogów produktów stoczni X oraz firmy ESAB  
Source: Based on shipyard product catalogues and ESAB company

Zużycie prądu oblicza się według parametrów oraz czasu spawania (tabl. III).

Urządzenie spawalnicze wykorzystane do usprawnienia prac spawalniczych – średni koszt urządzenia: 66 424,63 zł.

Do spawania styku skierowany jest tylko operator maszyny. Koszty związane z operatorem urządzenia zawarte zostały w tablicy IV.

**Tablica IV.** Koszty robocizny operatora po wprowadzeniu usprawnienia

**Table IV.** Operator labour costs after the improvement introduction

Koszty robocizny operatora	
Średnie wynagrodzenie operatora	3540 zł/miesiąc
Stawka wynagrodzenia za godzinę pracy	3540 zł: 160 h = 22,10 zł
Czas pracy spawacza	8,12 h
Wynagrodzenie	8,12 h * 22,10 zł = 179,45 zł

Źródło: Opracowanie na podstawie katalogów produktów stoczni X oraz firmy ESAB  
Source: Based on shipyard product catalogues and ESAB company

Amortyzacja urządzeń spawalniczych wynosi 18%. Obliczenia amortyzacji nowego urządzenia zawarte są w tablicy V.

**Tablica V.** Obliczenia amortyzacji urządzenia do automatyzacji, po wprowadzeniu usprawnienia

**Table V.** Device depreciation calculations for the purposes of automation after the improvement introduction

Cena urządzenia	<b>13450 zł + 66424,63 zł = 79874,63 zł</b>
Stopa amortyzacji	18%
Nominalny czas pracy w ciągu roku	2000 h
Całkowity czas spawania	8,12 h
Cena urządzenia x stopa amortyzacji	79874,63 zł x 18% = 14377,43 zł koszt na rok
Koszt na rok: nominalny czas pracy w ciągu roku	14377,43 zł: 2000 h = 7,18 zł (koszt jednej godziny)
Całkowity koszt spawania x koszt jednej godziny	7,18 zł x 8,12 h = 58,30 zł (koszt amortyzacji)

Źródło: Opracowanie na podstawie katalogów produktów stoczni X oraz firmy ESAB  
Source: Based on shipyard product catalogues and ESAB company

Do obliczania kosztów remontów urządzeń, autorzy przyjęli szacunkowo, że koszt ten stanowi 9% kosztów amortyzacji.

Koszt amortyzacji x 9% = 58,30 x 0,09 = 5,25 zł. Koszt remontów wynosi 5,25 zł.

## Porównanie metod spawania sekcji przestrzennych

Aby zbadać wpływ działania projektu usprawnienia spawania sekcji przestrzennych autorzy, dokonali porównania „starej” obecnej metody spawania stosowanej w stoczni z proponowaną nową. Do porównania posłużą wcześniej obliczone i opracowane dane dotyczące kosztów jednej i drugiej metody.

Zużycie gazów i energii elektrycznej zależy od: czasu spawania, wydatku gazu oraz parametrów spawania.

Porównanie czasów spawania oraz zużycie gazów i energii elektrycznej zawarte jest w tablicy VI.

**Tablica VI.** Obliczenia amortyzacji urządzenia do automatyzacji, po wprowadzeniu usprawnienia

**Table VI.** Device depreciation calculations for the purposes of automation after the improvement introduction

	Metoda 1	Metoda 2
<b>Czas spawania</b>	15,3 h	8,12 h
<b>Zużycie energii elektrycznej</b>	67,62 kWh	40,92 kWh
<b>Zużycie gazów osłonowych do spawania</b>	16,5 m <sup>3</sup>	8,8 m <sup>3</sup>

Źródło: Opracowanie na podstawie katalogów produktów stoczni X oraz firmy ESAB  
Source: Based on shipyard product catalogues and ESAB company

Usprawnienie metody spawania wpłynęło znacznie na obniżenie kosztów.

Porównanie obliczonych kosztów bezpośrednich zawarte jest w tablicy VII.

**Tablica VII.** Zestawienie kosztów bezpośrednich w obu metodach spawania

**Table VII.** Summary direct costs in both welding methods

Parametry kosztowe procesu		Parametry kosztowe procesu	
Cena urządzenia (zł)	13450	Cena urządzenia (zł)	66 424,63
Cena energii elektrycznej 1 kWh (zł)	0,62	Cena energii elektrycznej 1 kWh (zł)	0,62
Cena drutu proszkowego (zł/kg)	7,1	Cena drutu proszkowego (zł/kg)	7,1
Cena podkładki ceramicznej (zł/szt.)	1,9	Cena podkładki ceramicznej (zł/szt.)	1,9
Cena gazu osłonowego (zł/m <sup>3</sup> )	7,9	Cena gazu osłonowego (zł/m <sup>3</sup> )	7,9
Stawka amortyzacyjna (%)	18	Stawka amortyzacyjna (%)	18
Nominalny fundusz czasu pracy (h/rok)	2000	Nominalny fundusz czasu pracy (h/rok)	2000
Poniesione koszty bezpośrednie		Poniesione koszty bezpośrednie	
Koszt drutu proszkowego (zł)	24,85	Koszt drutu proszkowego (zł)	24,85
Koszt podkładek ceramicznych (zł)	115,9	Koszt podkładek ceramicznych (zł)	115,9
Koszt gazu osłonowego (zł)	130,35	Koszt gazu osłonowego (zł)	69,52
Koszt robocizny (zł)	429,93	Koszt robocizny (zł)	179,45
Koszt energii elektrycznej (zł)	41,93	Koszt energii elektrycznej (zł)	25,37
Koszt amortyzacji urządzenia (zł)	18,75	Koszt amortyzacji urządzenia (zł)	58,3
Koszt remontów urządzenia (zł)	1,7	Koszt remontów urządzenia (zł)	5,25
Koszt bezpośredni wykonania spoiny (zł)	763,41	Koszt bezpośredni wykonania spoiny (zł)	478,64

Z przeprowadzonej analizy wdrożenia nowej metody spawania wynika, że do poniesionych bezpośrednich kosztów związanych ze spawaniem badanego styku między blokowego zostały uwzględnione te same rodzaje kosztów, tj. koszt materiałów dodatkowych, koszt zużycia energii elektrycznej, koszt robocizny, koszt amortyzacji i remontów urządzenia.

Pierwszym analizowanym kosztem były dodatkowe materiały spawalnicze, które obliczone zostały na podstawie podstawowych danych do analizy kosztów nowego rozwiązania. Zestawienie obliczonych kosztów zawarte jest w tablicy I i wynosi 210,27 zł.

Koszt zużycia energii elektrycznej potrzebnej do zasilenia urządzeń spawalniczych oszacowany został w tablicy III i wynosi 25,37 zł.

Następny obliczany koszt dotyczył wynagrodzenia pracowników za wykonanie pracy, który zawiera tablica IV i wynosi 179,45 zł.

Kolejnymi kosztami analizowanymi były opłaty związane z amortyzacją i remontami urządzenia wykorzystywanego do procesu spawania, które zawarte są w tablicy V i wynoszą 58,30 zł (amortyzacja) oraz 5,25 zł (remonty urządzenia).

Po podsumowaniu wszystkich kosztów bezpośrednich poniesionych w usprawnionym procesie spawania stwierdzono, że wykonanie badanego odcinka styku międzyblokowego będzie wynosiło 478,64 zł (tabl. VII).

## Podsumowanie

Analizując koszty oraz czasy przedstawionych w artykule metod spawania sekcji przestrzennych (aktualnej oraz proponowanej) autorzy zauważyli:

- po wprowadzeniu projektu usprawniającego koszt spawania analizowanego styku blokowego będzie o 37% niższy niż przy stosowaniu metody konwencjonalnej
- zmniejszy się czas spawania o ok. 7 godzin, co wpłynie na obniżenie kosztów zużycia gazu osłonowego (60,83 zł), kosztów zużycia energii elektrycznej (16,56 zł) oraz kosztów robocizny (250,48 zł).

---

Ze względu na cenę urządzenia zwiększy się koszt amortyzacji o 39,55 zł oraz koszt remontów urządzenia o 3,55 zł.

Po przeanalizowaniu wszystkich kosztów bezpośrednich w proponowanym projekcie usprawniającym nowa metoda spawania pozwoli na zaoszczędzenie w stoczni 284,77 zł.

Zakładając 7 h pracy urządzenia dziennie, inwestycja zwróci się po 234 dniach.

Wdrożenie takiego urządzenia w stoczni pozwoli uzyskać wzrost wydajności poprzez skrócenie czasu spawania i uniknięcie wysokich kar pieniężnych za opóźnienia. Poprzez zautomatyzowanie procesu spawania styków poszyciowych możliwe jest uzyskanie powtarzalności wykonania spoiny oraz polepszenie jej jakości.

## Literatura

- [1] K. Luksa, J. Fitrzyk, E. Szpakowski: Analiza parametrów spawania GMA metodą wykrywania zakłóceń procesu spawania, Przegląd spawalnictwa, vol. 84, nr 11, s.29-34, 2012.
- [2] M. Gucwa, R. Bęczkowski, M. Stefański: Spawanie orbitalne wężownic ze stali VM12-SHC, Przegląd spawalnictwa, vol. 87, nr 10, s.120-123, 2015.
- [3] K. Dajczak: Przemysł stoczniowy w Polsce i na świecie, Politechnika Krakowska, Kraków, s. 11-12, 2008.
- [4] D. Dębski: Ekonomika i organizacja przedsiębiorstwa cz. 1, WSiP, Warszawa, s.35-36, 2006
- [5] T. Grochecki T. Usprawnienie procesu spawania, WSB Gdańsk, Gdańsk, s.46-50, 2016.
- [6] PN-EN ISO 6947:2011, Spawanie i procesy pokrewne -- Pozycje spawania.
- [7] Shipbuilding and Repair Quality Standard, Table 8.2 – Typical Butt Weld Plate Edge Preparation (Manual Welding and Semi-Automatic Welding) for Reference, No.47 pp 24.
- [8] PN-EN ISO 14175:2009, Materiały dodatkowe do spawania -- Gazy i mieszaniny gazów do spawania i procesów pokrewnych.