

Tomasz Urbański<sup>1)</sup>

## PANELE SANDWICH W WIELKOGABARYTOWYCH KONSTRUKCJACH STALOWYCH – CHARAKTERYSTYKA PROBLEMU ŁĄCZENIA

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono podstawowe typy innowacyjnych elementów konstrukcyjnych, zwanych panelami sandwich. Pokazano możliwości zastosowań paneli w wielkogabarytowych sekcjach stalowych. Konstrukcja hybrydowa, która powstaje w wyniku łączenia struktury konwencjonalnej z innowacyjną, stwarza konieczność rozwiązania szeregu problemów, zwłaszcza natury technologicznej. Do najistotniejszych problemów z tej dziedziny należy łączenie, zarówno paneli między sobą, jak również z konstrukcją konwencjonalną. W artykule dokonano charakterystyki problemu łączenia w kontekście technologicznym.

**Słowa kluczowe:** innowacyjny element konstrukcyjny, panel sandwich, węzeł hybrydowy, odkształcenia spawalnicze.

### WSTĘP

Potrzeba wytwarzania konstrukcji stalowych o coraz większych rozmiarach i zaawansowaniu konstrukcyjno-technologicznym przyczyniła się do poszukiwania nowych struktur, które mogłyby konkurować z konwencjonalnymi elementami wielkogabarytowych budowli. Strukturami tymi stały się innowacyjne elementy konstrukcyjne, zwane powszechnie panelami sandwich.

Określenie panel sandwich jest bardzo ogólne i może odnosić się zarówno do paneli stosowanych na elementy tzw. wyposażeniowe (nie przenoszące obciążeń) jak i do paneli wchodzących w skład elementów konstrukcji wielkogabarytowych (mogących przenosić obciążenia). Pomimo znaczących różnic między wspomnianymi grupami paneli, idea ich budowy jest taka sama (dwie powłoki zewnętrzne połączone rdzeniem) i opiera się na rozwiązaniach stosowanych w strukturach z tworzyw sztucznych. W artykule mowa będzie wyłącznie o drugiej grupie paneli sandwich.

Idea tego typu elementów (tj. warstwowych, przekładkowych) wywodzi się z rozwiązań stosowanych w lotnictwie [11] i zaczęła się (w gospodarce wojskowej), w Europie, na początku ubiegłego stulecia od paneli typu honeycomb (patent pierwszego

---

<sup>1)</sup> Wydział Techniki Morskiej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie.

rdzenia typu honeycomb pochodzi z 1905 r., z Niemiec) [3]. Do dziś sandwich'ę tego typu wykorzystywane są w przemyśle wojskowym, zarówno w lotnictwie [3], jak i w marynarce wojennej [17].

Przełomem, umożliwiającym produkcję innowacyjnych elementów konstrukcyjnych na skalę przemysłową, było wprowadzenie nowoczesnych technologii spawania, tj. spawania laserowego i hybrydowego oraz stworzenie nowych komponentów, np. elastomeru. Dzięki temu powstały m.in.: stalowe panele sandwich wytwarzane przez Meyer Werft w Papenburgu [16] oraz panele SPS (czyli sandwich plate system) [14].

Ostatnie kilkanaście lat to ciągły wzrost zainteresowania panelami sandwich, głównie ze strony ośrodków naukowo-badawczych oraz towarzystw klasyfikacyjnych, mający swoje odzwierciedlenie w wielu projektach o skali międzynarodowej (np. projekty: BONDSHP, SANDCORE, SANDWICH), których tematyka badawcza skupiała się głównie na problemach związanych z samymi panelami, ze szczególnym uwzględnieniem tematyki konstrukcyjno-wytrzymałościowej [7, 12].

Obecnie samo stosowanie paneli wydaje się być zagadnieniem opanowanym (np.: wydane zostały tymczasowe przepisy dotyczące remontów jednostek pływających przy wykorzystaniu technologii SPS [6] oraz projekt przepisów odnoszący się do stalowych, spawanych laserowo paneli sandwich [5]).

Jednak dalej najwięcej problemów generują obszary związane z technologicznością konstrukcji zawierającej w sobie panele sandwich w kontekście jej dalszej przydatności montażowej na etapie wytwarzania – tj. w warunkach produkcyjnych. Jednym z takich zagadnień jest problem łączenia innowacyjnych elementów konstrukcyjnych.

W artykule skupiono się głównie na jednym typie paneli (tj. I-core, rys. 1) z uwagi na dużą popularność tych elementów [7, 16] oraz prowadzone przez autora badania eksperymentalne z ich wykorzystaniem [12].

## CHARAKTERYSTYKA OGÓLNA PANELI SANDWICH

Budowę panelu sandwich przedstawiono na rysunku 1. Każdy taki panel składa się z dwóch płyt zewnętrznych i rdzenia. Różnice konstrukcyjne między poszczególnymi typami paneli wynikają z kształtów oraz rodzajów materiałów użytych na elementy rdzenia i sposobu ich łączenia z płytami wierzchnimi.

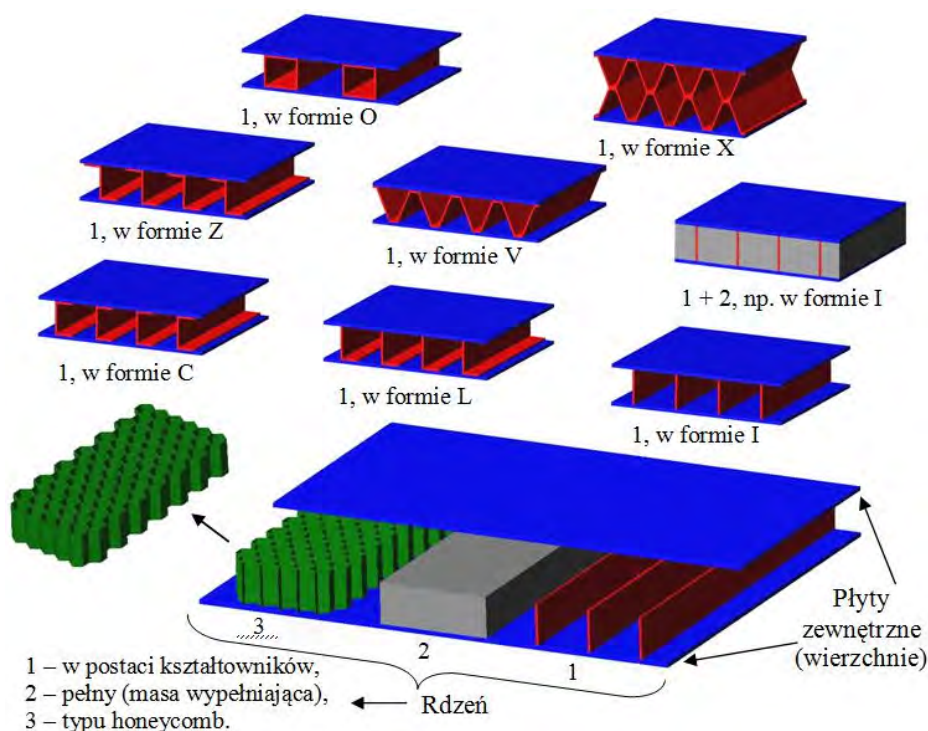
Płyty zewnętrzne paneli, stosowanych na elementy konstrukcyjne, mogą być wykonane są z różnych gatunków stali (najczęściej ze stali zwykłej oraz podwyższonej wytrzymałości, innych spawalnych gatunków stali – w tym stali o specjalnych własnościach, np. odpornych na korozję), stopów aluminium, stopów tytanu [15, 16].

Panele sandwich, w zależności od rodzaju rdzenia (rys. 1), podzielono na:

- Stalowe panele sandwich spawane laserowo. Podstawowe typy geometrii rdzeni mogą być w nich wykonane z kształtowników w formie: I (I-core), C, O, V, Z, L, X. Największym producentem paneli tego rodzaju oraz liderem w ich zastosowaniu w Europie jest Meyer Werft [16].

- Panele z rdzeniem pełnym. Najbardziej rozpowszechnionymi obecnie strukturami tego rodzaju są panele SPS (Sandwich Plate System); rdzeń tworzy w nich poliuretanowy kompozyt – elastomer. Badaniami, rozwojem oraz wdrażaniem technologii SPS zajmuje się firma Intelligent Engineering (IE) [15].
- Panele honeycomb. Posiadają rdzeń o specyficznej strukturze plastra miodu. Najczęściej spotykane są rdzenie o ogniwach w kształcie: sześciokątnym, czworokątnym, trójkątnym [14, 17].
- Panele hybrydowe (mieszane). Powstają poprzez modyfikacje, polegającą na połączeniu geometrii wyżej wymienionych rdzeni, np. stalowy panel typu I-core z wypełnieniem np.: betonowym lub z pianek syntetycznych.

Panele sandwich, jako elementy wielkogabarytowych konstrukcji stalowych, mogą być użyte przede wszystkim w rejonach nie posiadających krzywizn, głównie budowli z gałęzi przemysłu typu Offshore. Dotyczy to zarówno budowy nowych, jak i remontów jednostek już eksploatowanych. Innowacyjny element konstrukcyjny może być potencjalnie zastosowany:



Rys. 1. Budowa panelu sandwich oraz jego podstawowe rodzaje [12]

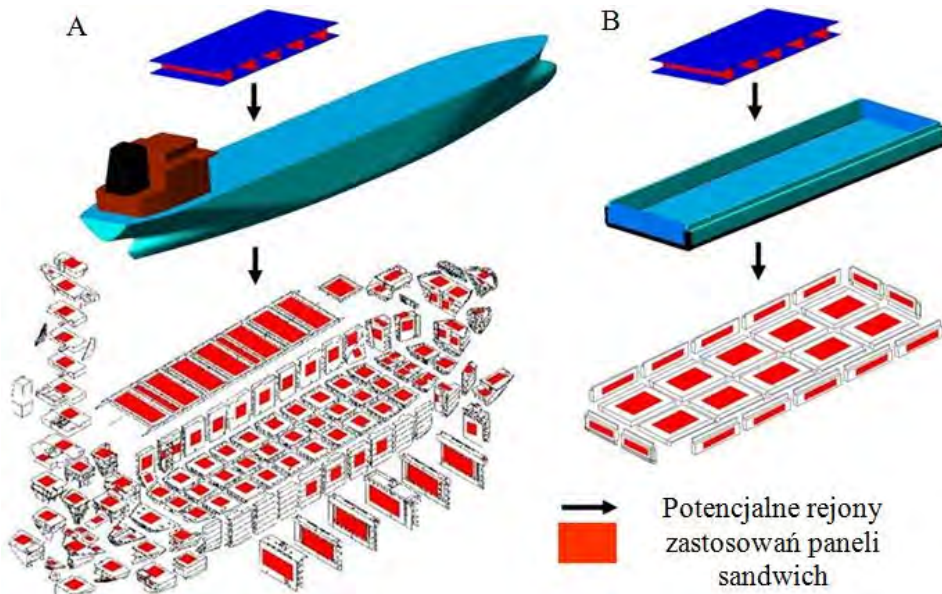
- w kadłubie statku pełnomorskiego, jako element: burt i den wewnętrznych w rejonie wstawki cylindrycznej, pokładów, grodzi, pokryw lukowych, ścianek zewnętrznych nadbudówek oraz klatek schodowych, szybów maszynowych i mostków kapitańskich (rys. 2) [12, 13],
- w kadłubie barki śródlądowej, jako niemalże wszystkie jego elementy poza obłami i skrajnikami (rys. 2) [12, 13].

Panele sandwich mogą również znaleźć zastosowanie jako elementy:

- innych konstrukcji oceanotechnicznych, w szczególności platform wiertniczych, głównie jako pokłady i ściany nadbudówek,
- konstrukcji budowlanych, np. jako elementy wielopiętrowych parkingów samochodowych oraz nawierzchni mostów.

Zastosowanie paneli sandwich w wymienionych konstrukcjach niesie szereg korzyści, z których najważniejsze to:

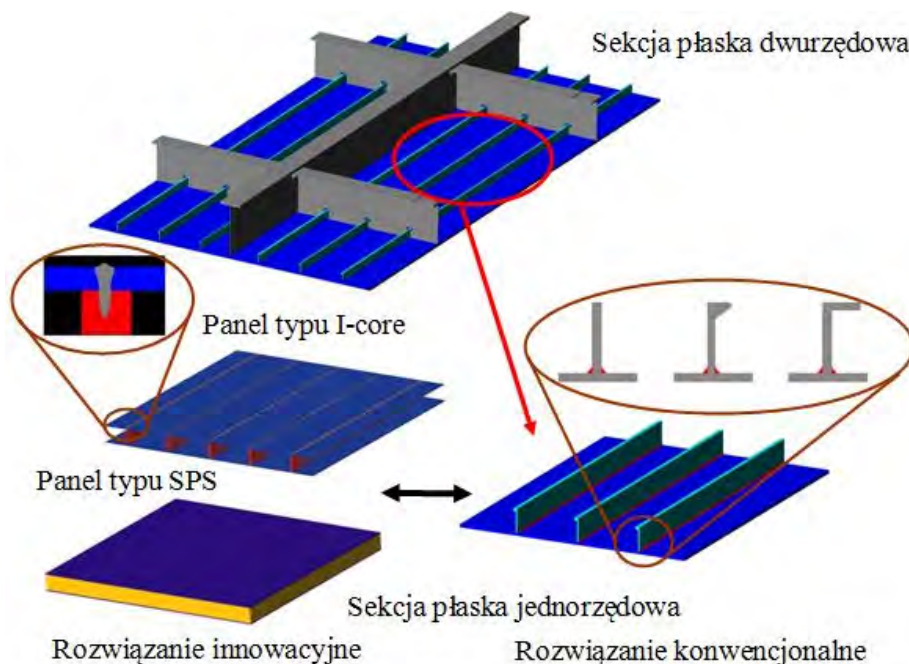
- od strony konstrukcyjnej – zwiększona wytrzymałość statyczna innowacyjnego panelu w porównaniu z konwencjonalną płytą usztywnioną (np. spawany laserowo panel sandwich jest w stanie przenieść ponad trzy krotnie większe obciążenie od tradycyjnie usztywnionej płyty stalowej, o tej samej masie oraz wymiarach [9]).



**Rys. 2.** Rejony zastosowania paneli sandwich w konstrukcji kadłuba: A – statku pełnomorskiego, B – barki śródlądowej [12, 13]

- od strony technologicznej – eliminacja usztywnień zwykłych (występujących najczęściej w postaci: płaskowników, kształowników łebkowych, kątowników (rys. 3).

Oszacowano, że zastosowanie pokazanego na rysunku 3 uproszczenia konstrukcji (z wykorzystaniem paneli sandwich typu SPS) w rejonie przestrzeni ładunkowej tankowca, o objętości 10 130 m<sup>3</sup>, pozwoli na wyeliminowanie kształtownika łebkowego w ilości ok. 9000 m oraz ok. 3700 detali konstrukcyjnych. Efektem powyższego będzie redukcja objętości spoin w tym rejonie konstrukcji o ok. 40% [4].



Rys. 3. Uproszczenie konstrukcji poprzez zastosowanie paneli sandwich: typu I-core oraz SPS (na podst. [12])

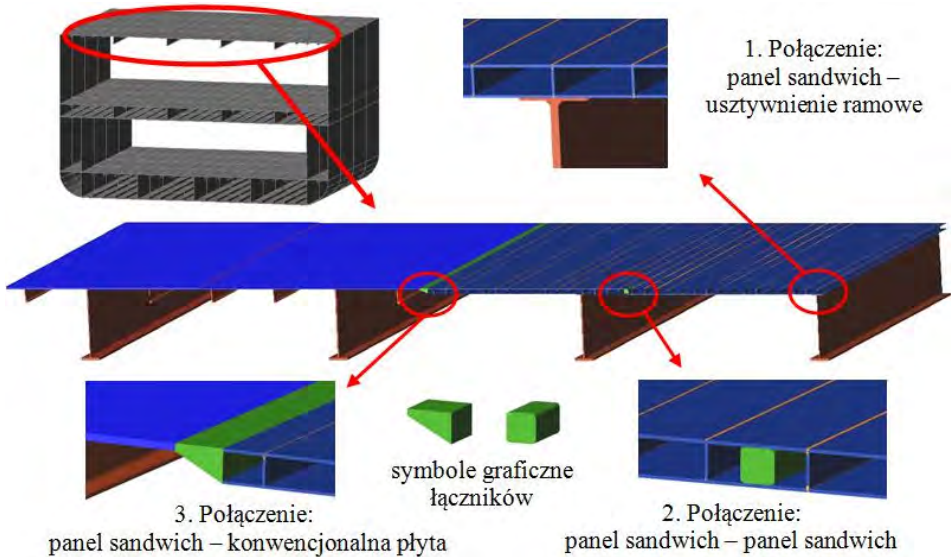
## ŁĄCZENIE INNOWACYJNYCH ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH

Użycie innowacyjnych paneli, niesie ze sobą wiele problemów, pojawiających się zarówno na etapie projektowania, wytwarzania, jaki i eksploatacji konstrukcji. Problemy na każdym z w/w etapów mają swój specyficzny charakter, który w fazie wytwarzania wielkogabarytowej konstrukcji stalowej może być natury: konstrukcyjnej, technologicznej oraz ekonomicznej. Za najbardziej znaczący, od strony technologicznej, uznano: prefabrykację oraz montaż wielkogabarytowych sekcji i bloków zawierających innowacyjne elementy konstrukcyjne. Z zagadnieniem tym nieodzownie związa-



ny jest problem łączenia ze sobą montowanych detali oraz podzespołów. Rodzaje połączeń występujących w wielkogabarytowej konstrukcji stalowej, która posiada innowacyjne panele przedstawiono na rysunku 4, a ogólną ich charakterystykę zamieszczono w tabeli 1.

Każde z połączeń (rys. 4) posiada inną skalę trudności technologicznej i występuje na innych etapach budowy konstrukcji. Do połączeń: dwóch paneli między sobą oraz panelu sandwich z konwencjonalną płytą poszycia niezbędne są, zazwyczaj, elementy



**Rys. 4.** Rodzaje połączeń występujących w wielkogabarytowej konstrukcji stalowej (na przykładzie kadłuba statku) zawierającej panele sandwich [12]

**Tabela 1.** Ogólna charakterystyka połączeń występujących w wielkogabarytowej konstrukcji stalowej zawierającej panele sandwich [12]

Składowe charakterystyki ogólnej połączeń przedstawionych na rys. 4	Typ połączenia		
	panel sandwich z usztywnieniem ramowym	panel sandwich z panelem sandwich	panel sandwich z tradycyjną płytą poszycia
Fragmety (rodzaje) łączonych konstrukcji	innowacyjny z konwencjonalnym	innowacyjny z innowacyjnym	innowacyjny z konwencjonalnym
Étap budowy kadłuba, w którym może wystąpić połączenie	prefabrykacja	prefabrykacja oraz montaż	prefabrykacja oraz montaż
Konieczność użycia łącznika (najczęściej o specyficznym kształcie)	nie	tak	tak
Poziom spodziewanych odkształceń spawalniczych*	mały	średni	duży

\* Poziom spodziewanych odkształceń spawalniczych założono na podstawie ilości oraz różnorodności geometrycznej elementów wchodzących w skład połączenia.

trzecie, tzw. łączniki. Dodatkowo trzeci rodzaj połączenia (rys. 4) wyróżnia się największą różnorodnością geometryczną elementów wchodzących w jego skład i dlatego odgrywa, w opinii autora, największą rolę w dalszej przydatności montażowej (poprzez przydatność montażową rozumie się zdolność konstrukcji, bądź jej fragmentu, do połączenia z inną konstrukcją, bądź jej fragmentem, najlepiej bez dodatkowych zabiegów korekcyjnych [12]). Elementy wchodzące w skład połączenia 3 (rys. 4) tworzą tzw. węzeł hybrydowy (zdefiniowany w [12] jako: szczególny fragment wielkogabarytowej konstrukcji stalowej, w którym łączą się dwie odmienne pod względem konstrukcyjno-technologicznym części tej konstrukcji).

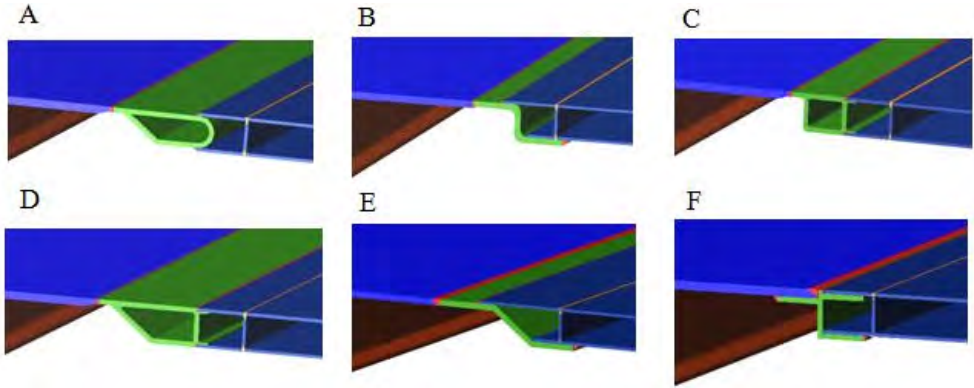
Ze względu na geometrię innowacyjnych elementów konstrukcyjnych – cienkościenna płyta dwupozyciowa – łączenie ich jest bardziej problematyczne, niż elementów konwencjonalnych. Zależnie od różnych rozwiązań konstrukcyjnych mogących wystąpić w wielkogabarytowej konstrukcji, pojawić się może wiele odmiennych wariantów połączeń. Kluczową rolę odgrywa tutaj kształt elementu scalającego (łącznika), którego wybór jest zagadnieniem kompleksowym i trudnym. Potrzebuje bowiem spojrzenia na problem z wielu punktów widzenia (m.in. konstrukcyjno-wytrzymałościowego, technologicznego, ekonomicznego), tak aby maksymalnie zwiększyć obiektywność wyboru. Kształt łącznika w znacznej mierze decyduje m.in. o ilości i jakości postaci odkształceń spawalniczych, które pojawiają się w połączeniach, zawierających panele sandwich. Dlatego próba kompleksowego spojrzenia wymaga sformułowania zbioru trafnych kryteriów oceny. Ponieważ przedstawienie zbioru kryteriów oraz metody wyboru mogłoby być przedmiotem co najmniej odrębnego artykułu, postanowiono ograniczyć się tylko do przedstawienia propozycji kilku kształtów łączników.

Dla połączenia panel sandwich – konwencjonalna płyta poszycia (tj. węzła hybrydowego) propozycję wybranych łączników zestawiono na rysunku 5. Łączniki te szczegółowo analizowano w rozprawie [12], a dla wariantu widocznego na rysunku 5.E opracowano metodę prognozowania odkształceń spawalniczych opartą na badaniach eksperymentalnych.

Połączenia panel-panel, w zależności od kształtu elementu scalającego, sklasyfikowano następująco:

1. Połączenia I-go typu – wykonywane za pośrednictwem łącznika w formie jednego z rodzajów rdzenia panelu (np. rys. 6.B, C).
2. Połączenia II-go typu – wykonywane za pośrednictwem łącznika w formie standardowych profili walcowanych.
3. Połączenia III-go typu – wykonywane za pośrednictwem łącznika o specyficznym, niestandardowym kształcie (np. rys. 6.A).
4. Połączenia IV typu – wykonywane za pośrednictwem łącznika stanowiącego jednocześnie zakończenie panelu, przybierającego, w przypadku paneli I-core, formę jednego z rodzajów rdzenia (np. rys. 6.C).

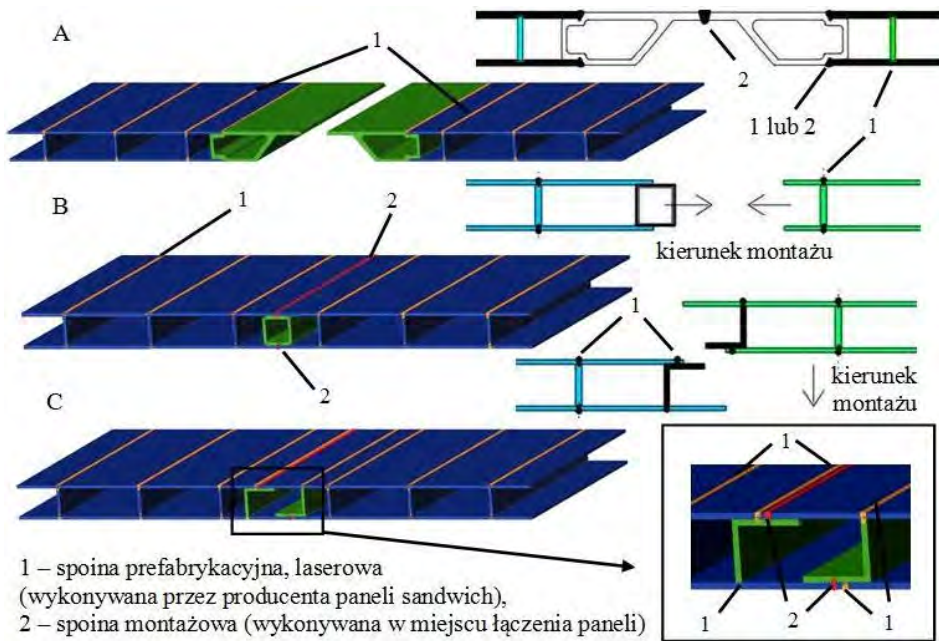
Znajdujące się na brzegach budowanych konstrukcji krawędzie paneli sandwich powinny być osłonięte. W przeciwnym wypadku stanowiąc będą potencjalne źródło



Rys. 5. Propozycje kształtów łączników w węźle hybrydowym (na podstawie [12])

powstawania korozji. Ponadto zakończenia paneli stanowią lokalne wzmocnienie konstrukcji oraz poprawiają estetykę wyrobu. Mogą również pełnić rolę łączników (rys. 6.C).

Bardzo istotnym zagadnieniem dotyczącym technologii wykonywania połączeń innowacyjnych elementów konstrukcyjnych jest zastosowanie właściwej metody łączenia.



Rys. 6. Łączniki proponowane przez Meyer Werft dla połączeń poprzecznych paneli I-core: A) o niestandardowym kształcie, B), C) w kształcie rdzenia panelu (na podst. [10])



Wśród metod, które mogą znaleźć zastosowanie w analizowanym zagadnieniu, wyróżniono trzy grupy [2]:

1. Mechaniczne – za pomocą np.: skręcania (wkrętami, śrubami), nitowania.
2. Chemiczne – za pomocą klejenia.
3. Termiczne – za pomocą:
  - spawania (zarówno metodami konwencjonalnymi, jaki i innowacyjnymi),
  - zgrzewania (głównie metodami innowacyjnymi np.: przy pomocy zgrzewania tarcowego).

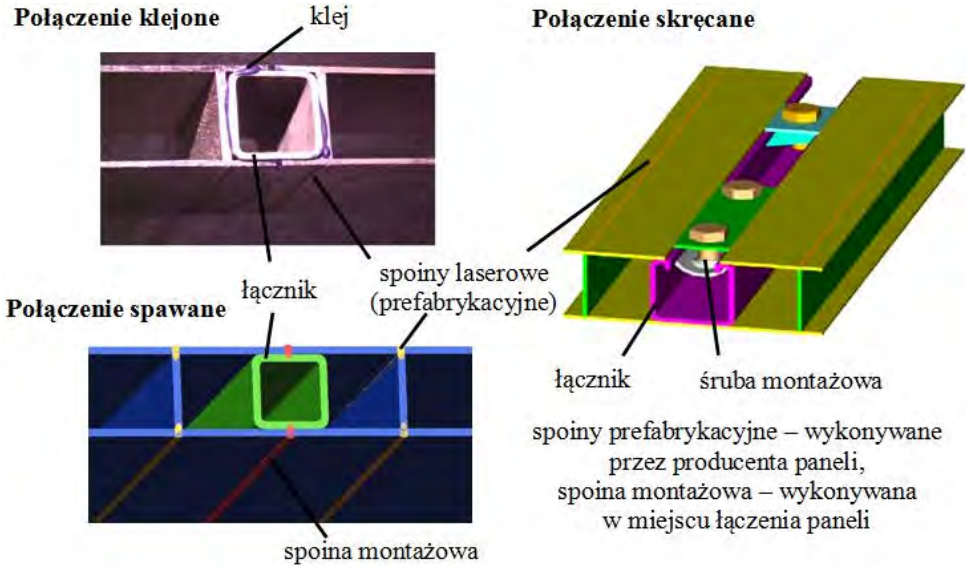
Zdecydowanie najbardziej atrakcyjną, w odniesieniu do wielkogabarytowych konstrukcji stalowych, jest grupa trzecia. Dotyczy to zwłaszcza konwencjonalnych odmian spawania łukowego, jako najlepiej opanowanych, a tym samym najpowszechniej stosowanych metod łączenia wspomnianych konstrukcji (nie wymagających dodatkowych nakładów finansowych, które trzeba by ponieść wdrażając np. którąś z innowacyjnych metod spawania).

Dwie pierwsze grupy należą do zdecydowanie mniej interesujących. Połączenia mechaniczne mają ograniczony zakres zastosowań (w odniesieniu do elementów konstrukcyjnych, nie biorąc pod uwagę detali wchodzących w skład wyposażenia) ze względu na gorszą szczelność połączeń i zdecydowanie większą pracochłonność prac w porównaniu np. ze spawaniem. Połączenia klejone posiadają również wady, które dyskwalifikują je na obecnym poziomie technologicznego stanu techniki, tzn.: brak odporności na działanie wysokiej temperatury np. w trakcie pożaru [7], konieczność przestrzegania ostrego reżimu przeprowadzania prac, z uwagi na możliwość dostania się zanieczyszczeń (brudu, kurzu) do połączenia, co uniemożliwia klejenie na otwartych przestrzeniach (np. na pochylni, czy w doku – mających istotne znaczenie dla gałęzi przemysłu typu offshore).

Prace prowadzone nad połączeniami klejonymi paneli sandwich, np. [1], dotyczą jedynie aspektów wytrzymałościowych samego połączenia, z pominięciem, na chwilę obecną, zagadnień technologicznych.

Przykłady połączeń paneli tyłu I-core wykonanych wymienianymi wyżej metodami przedstawiono na rysunku 7.

Istotą problemu łączenia, w aspekcie technologicznym, jest analiza odkształceń spawalniczych powstałych w miejscach styku łączonych ze sobą elementów oraz w obszarach do nich przyległych. Szczególnie istotna wydaje się być postać deformacyjna powstała na powierzchni innowacyjnych elementów konstrukcji z uwagi na ogromne trudności związane z ewentualnymi pracami naprawczymi – głównie prostowaniem – tych elementów (bardzo cienkie blachy paneli sandwich w stosunku do pozostałych elementów konstrukcji). Z naukowego oraz praktycznego punktu widzenia ważnym zagadnieniem, jest opracowanie metody prognozowania odkształceń spawalniczych, co pozwoli na dokładne określenie tzw. przydatności montażowej dla danego rodzaju połączenia. W konsekwencji umożliwi to sterowanie technologicznością wielkogabarytowej konstrukcji na etapie jej wytwarzania.



**Rys. 7.** Rodzaje połączeń (metod łączenia) innowacyjnych elementów konstrukcyjnych, na przykładzie paneli typu I-core (na podst.: [1, 8])

Wybrane postacie odkształceń spawalniczych występujących w połączeniach zawierających panele sandwich przedstawiono w tabeli 2 oraz zobrazowano na rysunku 8.

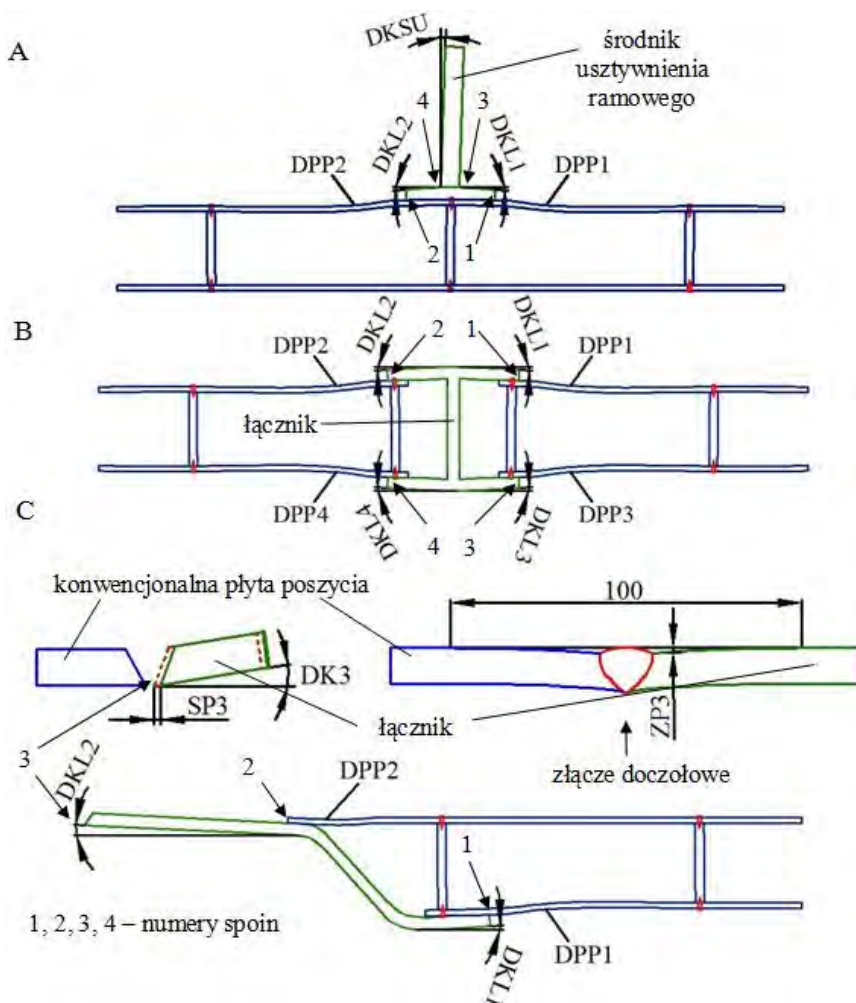
Oprócz wymienionych postaci odkształceń w każdym rodzaju połączenia wystąpią (nie widoczne na rysunku 8):

- deformacje wzdłużne (strzałki ugięcia): poszycia panelu, łącznika, usztywnienia ramowego, przy spoinie czołowej;
- deformacje poprzeczne (strzałki ugięcia) całego połączenia.

**Tabela 2.** Wybrane postacie odkształceń spawalniczych występujących w połączeniach zawierających panele sandwich, przedstawione na rysunku 8 (na podst. [12])

L.p.	Postać odkształcenia spawalniczego (rys. 8)	Symbol postaci odkształcenia*
1	Deformacja poprzeczna poszycia panelu (pofalowanie powierzchni)	DPP1, DPP2, DPP3, DPP4
2	Deformacja kątowa łącznika	DKL1, DKL2, DKL3, DKL4
3	Deformacja kątowa środka usztywnienia ramowego	DKSU
4	Skurcz poprzeczny przy spoinie czołowej	SP3
5	Deformacja kątowa przy spoinie czołowej	DK3
6	Załamanie poszycia przy spoinie czołowej	ZP3

\* Numer przy symbolu odpowiada numerowi spoiny (rys. 8).



**Rys. 8.** Wybrane postacie odkształceń spawalniczych wyróżnionych w połączeniach panelu sandwich z : A) usztywnieniem ramowym, B) panelem sandwich C) płytą konwencjonalną (na podst. [12])

## WNIOSKI

Zastosowanie innowacyjnych elementów konstrukcyjnych, zwanych powszechnie panelami sandwich, stwarza nowe możliwości w budowie wielkogabarytowych konstrukcji stalowych. Zmniejszenie ilości prac montażowych i naprawczych nowo budowanych konstrukcji zawierających nowoczesne struktury, może przynieść wymierne korzyści ekonomiczne i stanowi atrakcyjną alternatywę dla konwencjonalnych metod budowy.

Jednak pojawienie się nowych elementów niesie ze sobą szereg problemów, zwłaszcza natury technologicznej. Za najbardziej istotny z nich, tj. warunkujący możliwości aplikacyjne innowacyjnych paneli w danej konstrukcji, uznano problem łączenia, którego istotą jest opanowanie odkształceń spawalniczych.

Dlatego dla pełnego wykorzystania paneli sandwich w procesie wytwarzania złożonych konstrukcji konieczne jest prowadzenie prac badawczo-wdrożeniowych.

Przytaczane w artykule badania eksperymentalne realizowano w ramach projektu promotorskiego na Wydziale Techniki Morskiej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie w latach 2007–2009. Wyniki tych badań będą przedmiotem kolejnych publikacjach w czasopismach krajowych i zagranicznych.

## LITERATURA

1. Brede M.: Design and Testing of Adhesive Joints in Ship-Building – Examples from the BONDSHIP Mock-up. Public conference, Papenburg, Germany, 24 October 2003 (<http://sandwich.balport.com>).
2. Iwańkiewicz R., Rutkowski R., Graczyk T.: Review of Joining Methods of Sandwich Panels in Ship Construction. Marine Technology V, proc. of the Fifth International Conference on Marine Technology ODRA'03, Szczecin 28-30 May 2003, WITPress – Southampton & Boston 2003.
3. Joyce P.J.: Sandwich Structures (<http://web.ew.usna.edu>).
4. Lloyd's Register Maritime Bulletin – Special Report, September 2000.
5. Project Guidelines for Metal-Composite Laser-Welded Sandwich Panels (Public Version), Technical Report, Det Norske Veritas (Document of SANDWICH Project).
6. Provisional Rules for the Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure, Lloyd's Register, London 2006.
7. Pyszko R.: Zastosowanie stalowych paneli typu sandwich w konstrukcjach okrętowych i oceanotechnicznych. Rozprawa doktorska, Katedra Technologii Okrętu, Systemów Jakości i Materiałoznawstwa, Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2006.
8. Reinert T.: Laser Welding and I-core Panels. Sandwich-Presentation (<http://sandwich.balport.com>).
9. Roland F., Metschko B.: Laser welded sandwich panels for shipbuilding and structural steel engineering. Second International Conference On Maritime Technology – ODRA 1997.
10. Roland F., Reinert T.: Laser Welded Sandwich Panels for the Shipbuilding Industry. USER GROUP Inauguration, Advanced composite sandwich steel structure, Bremen 19.09.2000 (<http://sandwich.balport.com>).
11. Said P., Elbridge Z. Stowell: Elastic and plastic buckling of simply supported solid-core sandwich panels in compression (<http://naca.larc.nasa.gov>).
12. Urbański T.: Metoda prognozowania odkształceń spawalniczych węzła hybrydowego na podstawie badań eksperymentalnych. Rozprawa doktorska, Zakład Konstrukcji, Mechaniki i Technologii Okrętów, Wydział Techniki Morskiej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Szczecin 2009.

13. Urbański T., Graczyk T.: Application of innovative materials in waterborne transport means – identification of technological problems. International Conference on Innovative Materials and Technologies for Surface Transport (INMAT 2005), Gdańsk, Poland, 7-8 November, 2005.
14. <http://www.hexcelcomposites.com>.
15. <http://www.ie-sps.com>.
16. <http://www.meyerwerft.de>.
17. <http://www.tricelcorp.com>.

## **SANDWICH PANELS IN LARGE-SIZE STEEL STRUCTURES – CHARACTERISTIC OF JOINING PROBLEM**

### **Abstract**

The underlying article presents fundamental types of innovative structural elements, called sandwich panels. It reveals possibilities of using panels in large-size steel sections. The hybrid construction, which emerges as a result of joining conventional structure with innovative, creates the necessity of solving several problems, especially of technological nature. The most important problems in this field are joining panel to panel and panel with conventional construction. The article performed a characteristic of joining problem in technological point of view.

**Keywords:** innovative constructional element, sandwich panel, hybrid node, welding distortions