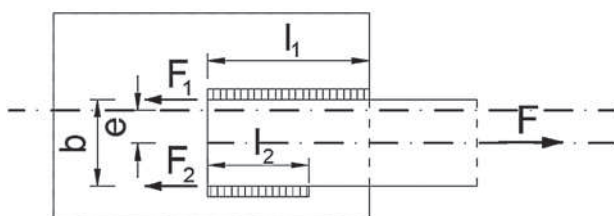


Zachowanie się spawanych połączeń zakładkowych blach z mimośrodem połączenia

Mgr inż. Damian Kukła, Inżynieria Rzeszów S.A., Politechnika Rzeszowska,
mgr inż. Adrian Szpyrka REST Usługi Remontowo-Budowlane i Specjalistyczne,
M. Jamróz, J. Nowak, Sp. j., Politechnika Rzeszowska

1. Wprowadzenie

Wykonanie połączeń konstrukcji stalowych powoduje niejednokrotnie powstanie nieuniknionych mimośródów. Pojawienie się mimośrodu połączenia prętów rozciąganych powoduje dodatkowe zginanie. Główną przyczyną występowania mimośródów w złączach są charakterystyki geometryczne łączonych elementów prowadzące do braku współosiowego ustawienia elementów w węźle [6, 7]. Podział, w jakim stopniu mimośród przekazuje się na poszczególne części połączenia, zależy od sztywności elementów w złączu. Aktualny stan wiedzy umożliwi wyznaczenie sił przypadających na poszczególne spoiny w celu wyeliminowania mimośrodu połączenia, jak to przedstawiono w pracy [2, 3]. Zastosowanie niesymetrycznego układu spoin łączących (rys. 1) ma na celu eliminację zginania powstałego w wyniku występowania mimośrodu poprzez dobranie przekrojów spoin stosownie do sił, co spowoduje pokrywanie się środka ciężkości spoin z rzutem geometrycznym osi pręta.



Rys. 1. Niesymetryczny układ spoin w przypadku rozciągania z mimośrodem

Niesymetryczną konfigurację spoin (rys. 1) uwzględnić można na podstawie wzorów (1 i 2), w których siły przypadające na poszczególne spoiny są równe:

$$F_1 = F \cdot (b + 2e / 2b), \quad (1)$$

$$F_2 = F \cdot (b - 2e / 2b). \quad (2)$$

gdzie: F – siła osiowa obciążająca połączenie [N],
 e – mimośród działania siły [mm],
 b – szerokość połączonego elementu [mm],
 F_1, F_2 – siły osiowe obciążające odpowiednie odcinki spoin [N].
Dla wyznaczonych sił przypadających na spoiny można obliczyć długość spoin ze wzoru:

$$l_w = \frac{F_{Ed} \cdot \sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}{f_u \cdot a_w} \quad (3)$$

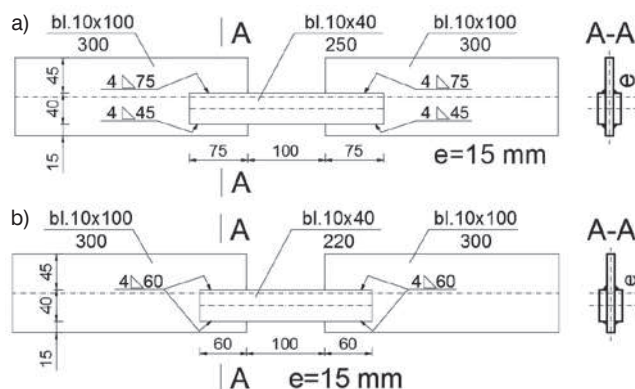
gdzie: F_{Ed} – siła przypadająca na spoinę [N],
 β_w – współczynnik korelacji,
 γ_{M2} – współczynnik bezpieczeństwa,
 f_u – granica wytrzymałości stali [N/mm²],
 a_w – grubość spoiny [mm].

Zaprojektowanie różnej długości spoin pachwinowych podanych rozciąganiu prowadzi do różnego wyężenia spoin, a co z tym związane różny rozkład naprężeń i odkształceń na długości jak to przedstawiono w pracy [2, 3, 4, 6, 11, 12].

2. Cel i zakres badań

Celem badań było ustalenie rzeczywistego rozkładu odkształceń w spoinach pachwinowych podłużnych prętów poddanych rozciąganiu z występującym mimośrodem. Mimośród połączenia został zaprojektowany celowo poprzez nieosiowe ustawienie elementów w połączeniu. Badania doświadczalne zostały wykonane na próbkach przedstawionych na rysunku 2a i b. Obliczenia nośności połączenia wykonano zgodnie z normą [8].

Do badań wykonane zostały cztery próbki. W obu typach próbek zaprojektowane zostało połączenie zakładkowe ze spoinami pachwinowymi podłużnymi. Głównym czynnikiem różniącym oba rodzaje próbek był układ spoin. W próbce P-1 zaprojektowane zostały spoiny o stałej grubości wynoszącej 4 mm, lecz o zróżnicowanej długości. Dłuższa ze spoin próbki P-1 ma długość 75 mm, a krótsza 45 mm. Dla próbek P-2



Rys. 2. Próbkki: a) P-1, b) P-2



Rys. 3. Widok próbek przed badaniem: a) próbka P-1, b) próbka P-2

zaprojektowane zostały spoiny pachwinowe grubości 4 mm i stałej długości wynoszącej 60 mm. Badania próbek P-1 z nierównym układem spoin mają za zadanie zweryfikować doświadczalnie, czy wyznaczony na podstawie wzorów (1 i 2) rozkład sił na spoiny pozwoli na eliminację zginania w połączeniu. Próbki P-2 z równym układem spoin mają za zadanie porównanie wyników z próbką P-1 oraz zweryfikowanie, czy w tym typie połączenia wystąpi moment zginający i jaki będzie rozkład odkształceń w spoinach oraz blachach. Widok próbek przedstawiono na rysunku 3.

3. Opis metody badawczej

Badania zostały wykonane w Wydziałowym Laboratorium Badań Konstrukcji Politechniki Rzeszowskiej [5]. W badaniach została wykorzystana maszyna wytrzymałościowa INSTRON o numerze seryjnym 1200KN-J1D. Pierwszymi badaniami, jakie wykonano, były badania materiałowe stali. Badania zostały wykonane na dwóch jednakowych próbkach „wiosetek” wyciętych z blach użytych do wykonania próbek. Wymiary oraz szybkość badania określone zostały zgodnie z [10], równe 1,0 mm/min. Odkształcenie podłużne próbki było mierzone przy użyciu ekstensometru optycznego. Wyniki badań materiałowych zostały przedstawione w tabeli 1.

Przed badaniem próbek P-1 i P-2 zostały wykonane pomiary inwentaryzacyjne próbek w celu ustalenia rzeczywistych wymiarów. Na podstawie wykonanych pomiarów obliczone zostały średnie wartości grubości spoin przedstawione w tabeli 2. W każdej z próbek średnia grubość spoin była większa od projektowanej. Na podstawie badań wizualnych nie zaobserwowano żadnych wad spoin. W celu zbadania zachowania się próbek w czasie badania na powierzchni spoin oraz blach (rys. 4) w wybranych punktach zostały naklejone tensometry elektrooporowe foliowe TFs-5 o rezystancji 120 Ω wraz z kompensacją temperaturą.

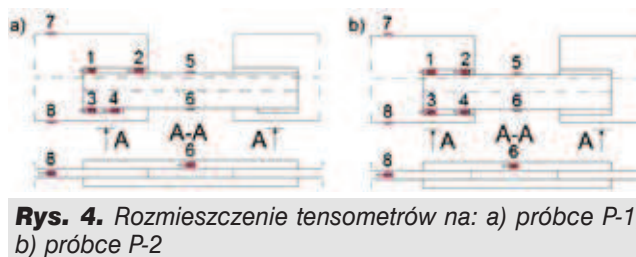
Tensometry przyklejone na spoinie próbki P-1 oraz P-2 (rys. 4a i b, punkty 1, 2 i 3, 4) mają na celu zbadanie rzeczywistego układu odkształceń w spoinach oraz ich porównanie. Punkty pomiaru odkształceń zlokalizowane na blachach (rys. 4a i b, punkty 5, 6 i 7, 8) utworzono z zamiarem sprawdzenia rozkładu odkształceń na zewnętrznych krawędziach, co pozwoli uchwycić ewentualny nierównomierny rozkład odkształceń

Tabela 1. Zestawienie wyników badań materiałowych

LP.	Granica plastyczności R_e [MPa]	Granica wytrzymałości R_m [MPa]	Maksymalne odkształcenie podłużne [mm/mm]
W-1	266,42	389,36	0,38
W-2	276,90	393,63	0,32

Tabela 2. Zestawienie średnich grubości spoin

Numer próbki	Średnia grubość spoin [mm]
P-1A	5,20
P-1B	5,31
P-2A	4,84
P-2B	5,67

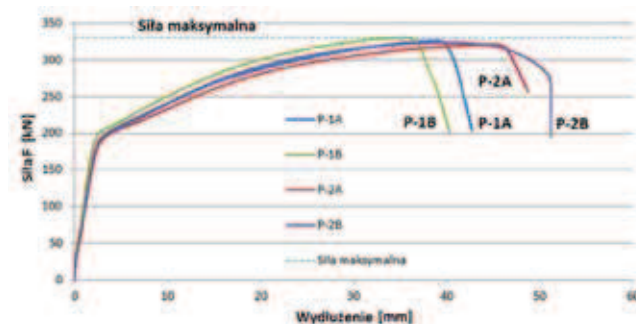


Rys. 4. Rozmieszczenie tensometrów na: a) próbce P-1, b) próbce P-2

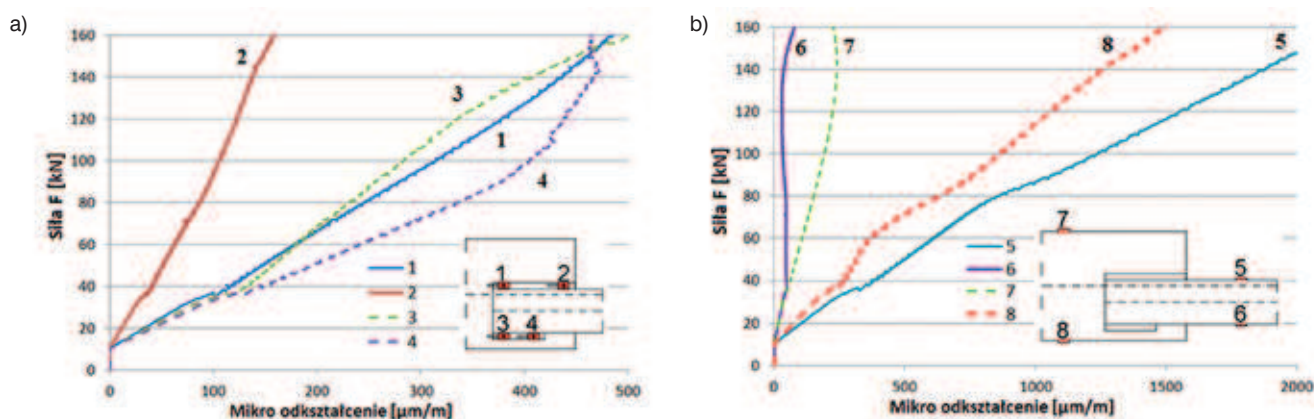
na wysokości przekroju blach. Badania próbek wykonano zgodnie z normą [9].

4. Wyniki badań

W oparciu o przeprowadzone badania zostały wykonane wykresy zależności siły F obciążająca próbkę – wydłużenie podłużne próbki dla końców blach (rys. 5) w trakcie badania. Za siłę maksymalną przyjęto maksymalną wartość siły uzyskaną w trakcie badania spośród wszystkich próbek. Zachowanie wszystkich próbek było niemal jednakowe. Różnice pojawiają się dopiero w końcowej fazie badania, tuż przed zniszczeniem. W trakcie obserwacji zachowania próbek w czasie badania w początkowym okresie nie zauważono żadnych efektów występowania mimośrodów. Po osiągnięciu w próbce siły równej połowie siły maksymalnej zaczęły się pojawiać deformacje blach w okolicy połączeń, które wraz ze wzrostem siły F narastały. Kolejno nastąpiła stabilizacja wygięć blach, próbka ulegała jedynie wydłużeniu podłużnemu. W końcowej fazie nastąpiło zniszczenie próbek poprzez zerwanie blach środkowych.



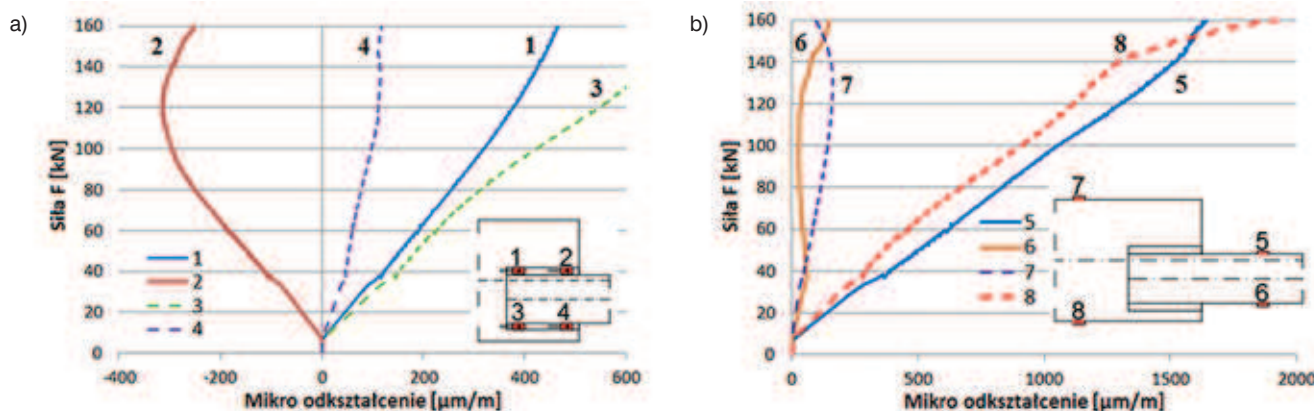
Rys. 5. Wykres zależności siły F – wydłużenie próbek w czasie badania



Rys. 6. Wykres zależności siły F – odkształcenie: a) spoin próbki P-1A, b) blach próbki P-1A

Tabela 3. Zestawienie wyników analizy wartości mimośrodowej dla próbki P-1A

Siła [kN]	Odkształcenie w punkcie nr [$\mu\text{m/m}$]				Naprężenia od zginania [MPa]				Wielkość mimośrodowej w przekroju blachy dla punktów [mm]	
	5	6	7	8	5	6	7	8	5–6	7–8
15,50	159,80	25,30	25,21	115,27	14,2	-14,1	-8,5	8,7	4,88	9,36
45,5	494,26	45,66	84,22	314,78	46,9	-46,7	-21,0	21,1	5,33	9,57
70,0	785,60	46,83	141,19	559,30	77,5	-77,7	-47,8	47,5	5,92	9,45
108,0	1249,23	34,17	193,74	872,87	127,3	-127,8	-75,1	75,3	5,80	9,34



Rys. 7. Wykres zależności siły – odkształcenie: a) spoin próbki P-2A, b) blach próbki P-2A

Wartości odkształceń w próbce P-1A uzyskane na podstawie pomiarów z wykorzystaniem tensometrów przedstawiono na rysunku 6.

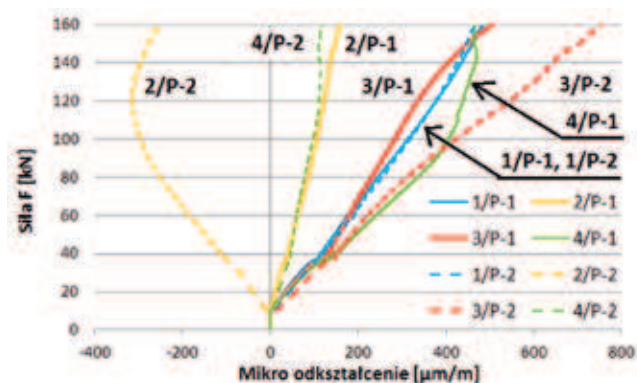
Rozkład odkształceń spoin (rys. 6a) w początkowym okresie badania nie był jednakowy. Większe wartości występowały w punktach 1, 3 i 4 (rys. 6a) niż w punkcie 2. Największe wartości odkształceń uzyskane zostały w punkcie 4 zlokalizowanym na krótszej spoinie (rys. 6a). Zauważyć można, że spoiny w całym czasie badania poddane były odkształceniu dodatniemu, czyli rozciąganiu.

Punkty pomiaru odkształceń blach (rys. 6b) prezentowały różne zachowanie w trakcie badania. Od samego początku wartości odkształceń znacznie się różniły od siebie. Punkty 6 i 7 w początkowym trakcie badania wykazywały minimalne wartości odkształceń, natomiast punkty 5 i 8 (rys. 6b) od samego

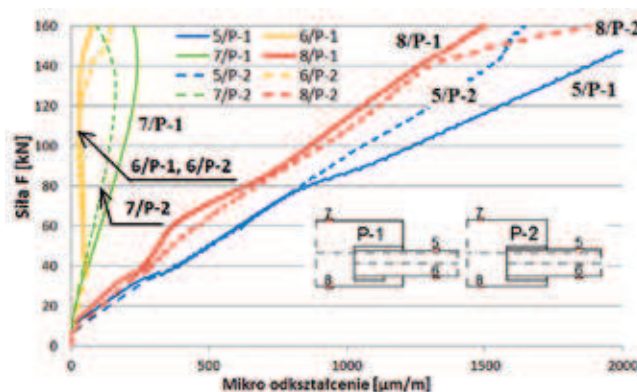
początku uzyskiwały duży przyrost wartości. Na podstawie uzyskanych wyników odkształceń w wybranych punktach blach podjęto próbę wyznaczenia mimośrodowej (tab. 3) dla sprężystego zakresu pracy materiału. Mimośród przypadający na poszczególne części próbki wyznaczono w oparciu o metodę odwrotną. Na podstawie wartości odkształceń uzyskanych z badań wyznaczone zostały wartości naprężeń całkowitych w zakresie sprężystym. Kolejną znając wartość obciążenia oraz pole przekroju poprzecznego pręta wyznaczone zostały naprężenia od rozciągania, które przyjmują jednakową wartość w przekroju. Naprężenie od zginania to różnica naprężeń całkowitych i naprężeń od rozciągania. Moment zginający to iloczyn naprężeń od zginania i wskaźnika wytrzymałości. Mimośród wyznaczony został jako iloraz momentu zginającego i siły w próbce.

Tabela 4. Zestawienie wyników analizy wartości mimośrodowej dla próbki P-2A

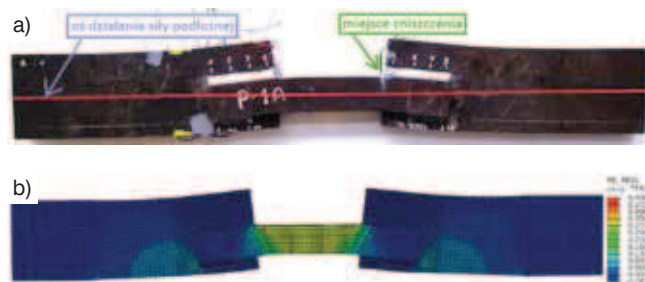
Siła [kN]	Odształcenie w punkcie nr [$\mu\text{m}/\text{m}$]				Naprężenia od zginania [MPa]				Wielkość mimośrodowej w przekroju blachy dla punktów [mm]	
	5	6	7	8	5	6	7	8	5–6	7–8
18,5	186,70	33,79	20,92	147,53	16,1	-16,1	-13,5	13,5	4,62	12,84
46,0	497,97	50,05	64,37	359,15	47,1	-47,0	-31,0	30,9	5,46	11,58
75,0	776,52	35,06	105,60	609,88	69,3	-69,4	-53,1	53,1	6,09	11,79
110,0	1053,4	28,25	140,60	909,83	83,7	-83,5	80,2	80,1	5,87	12,02



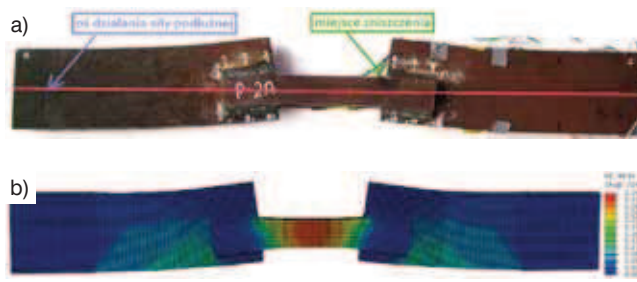
Rys. 8 Wykres porównawczy zależności siła – odkształcenie spoin próbki P-1 i P-2



Rys. 9. Wykres porównawczy zależności siła – odkształcenie blach próbki P-1 i P-2



Rys. 10. Forma zniszczenia próbki P-1: a) widok próbki, b) mapa odkształceń podłużnych



Rys. 11. Forma zniszczenia próbki P-2: a) widok próbki, b) mapa odkształceń podłużnych

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzić można, że wartość mimośrodowej w wybranych przekrojach była różna. Znacznie większa wartość przypadła na przekrój w miejscu punktów 7, 8 niż punktów 5, 6. Jest to wynikiem różnej sztywności łączonych blach. Wielkość mimośrodowej jest wprost proporcjonalna do stosunku sztywności, który wynosi odpowiednio 0,32 dla blach środkowych i 0,68 dla blach skrajnych.

Podobne zachowanie zaobserwować można w przypadku próbki P-2A. Rozkład odkształceń w czasie badania spoin (rys. 7a) był nierównomierny. Od początkowego etapu badania wartości odkształceń w wybranych punktach różniły się od siebie. Warty uwaga jest fakt, iż spoina w punkcie pomiarowym 2 (rys. 7a) w czasie badania była ściskana. Jest to dowodem, że spoiny poddane zostały działaniu momentu zginającego z połączenia. Wartości odkształceń blach próbki P-2A przedstawiono na rysunku 7b. Wartości odkształceń w wybranych punktach na blachach mają różne wartości od początku badań. Analogicznie jak to przedstawiono dla próbki P-1A (tab. 3) wyznaczone zostały wartości mimośrodowej dla próbki P-2A (tab. 4).

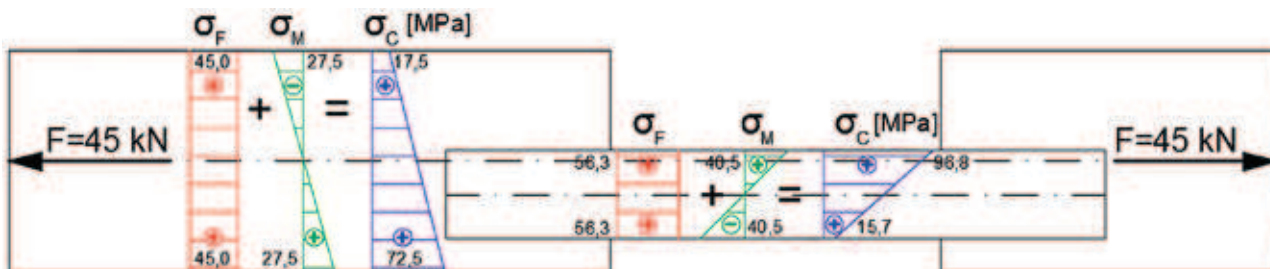
Analizując wyniki z tabeli 5, zauważyć można, że wielkość mimośrodowej nie była jednakowa w wybranych przekrojach w okolicy połączenia. Mimośród wyznaczony w przekroju 7–8 ponad dwukrotnie przewyższał mimośród w przekroju 5–6. Powodem różnicy wartości mimośrodowej w wybranych przekrojach blach jest stosunek wartości wskaźnika wytrzymałości, jak to wyjaśniono w przypadku próbki P-1.

Porównując wartości odkształceń spoin (rys. 8), zauważyć można, że tylko dla punktu 1 wartości się pokrywają. Pozostałe punkty uzyskały różne wartości odkształceń. Powodem takiego zachowania było różnie wyęźnienie spoin spowodowane zróżnicowaną ich długością.

Wartości odkształceń blach próbki P-1A i P-2A (rys. 9) uzyskały dużą zbliżość wyników. Niemał wszystkie krzywe pokrywają się. Świadczy to o takim samym zachowaniu obu połączeń. Analizując obrazy próbek po zniszczeniu (rys. 10a i 11a), zauważyć można znaczne podobieństwo. Szczególnie widoczne jest wygięcie obu próbek w okolicy połączenia. Zauważyć również można, iż wygięcie blach spowodowało

Tabela 5. Wyniki obliczeń analitycznych próbki P-1 w porównaniu z wynikami badań doświadczalnych i MES dla punktów od 5 do 8

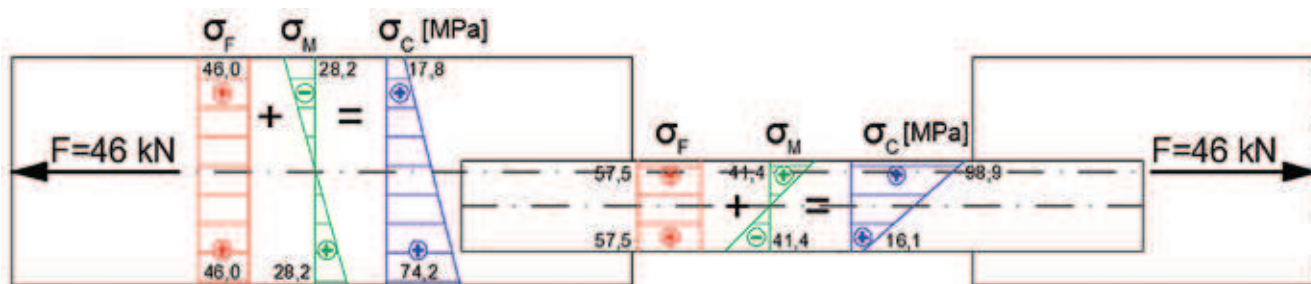
Siła [kN]	Naprężenia całkowite w punkcie nr 5 [MPa]			Naprężenia całkowite w punkcie nr 6 [MPa]			Naprężenia całkowite w punkcie nr 7 [MPa]			Naprężenia całkowite w punkcie nr 8 [MPa]		
	analit.	dośw.	MES	analit.	dośw.	MES	analit.	dośw.	MES	analit.	dośw.	MES
15,5	33,3	33,6	33,59	5,5	5,3	8,98	6,0	5,3	4,32	25,0	24,2	26,65
45	96,8	103,8	98,65	15,7	9,6	27,45	17,5	17,7	13,86	72,5	66,1	78,47
70	150,5	165,0	150,24	24,5	9,8	43,84	27,0	29,6	22,85	112,8	117,5	121,40
108	232,2	262,3	221,21	37,8	7,2	70,10	41,9	40,7	37,17	174,1	183,3	179,74



Rys. 12. Rozkład naprężeń w wybranych przekrojach blach próbki P-1 – obliczenia analityczne

Tabela 6. Wyniki obliczeń analitycznych próbki P-2 w porównaniu z wynikami badań doświadczalnych i MES dla punktów 5 do 8

Siła [kN]	Naprężenia całkowite w punkcie nr 5 [MPa]			Naprężenia całkowite w punkcie nr 6 [MPa]			Naprężenia całkowite w punkcie nr 7 [MPa]			Naprężenia całkowite w punkcie nr 8 [MPa]		
	analit.	dośw.	MES	analit.	dośw.	MES	analit.	dośw.	MES	analit.	dośw.	MES
18,5	39,77	39,21	38,27	6,48	7,10	10,07	7,18	4,39	5,13	29,82	30,98	32,73
46,0	98,9	104,57	96,29	16,1	10,51	26,54	17,85	13,52	14,07	74,15	75,42	82,52
75,0	161,25	163,07	154,24	26,25	7,36	44,78	29,1	22,18	24,32	120,9	128,07	133,70
111,0	238,65	221,22	216,78	38,85	8,66	71,18	43,07	29,53	37,36	178,93	191,07	188,39



Rys. 13. Rozkład naprężeń w wybranych przekrojach blach próbki P-2 – obliczenia analityczne

osiowe ustawienie elementów w środkowej części próbek. Próbki w czasie obciążenia samoistnie dążyły do wyeliminowania zginania z połączenia poprzez wygięcie łączonych elementów. W kolejnej fazie badań wykonano obliczenia analityczne rozkładu naprężeń w wybranych punktach blach. Obliczenia wykonano do sprężystego zakresu pracy materiału. Znając wielkość siły obciążającej próbkę, można wyznaczyć wartość momentu zginającego jako iloczyn siły oraz mimośrod. Przyjęto stałą wartość mimośrodu połączenia równą 15 mm. Wielkość mimośrodu przypadająca na poszczególne części próbki zależy od stosunku wskaźnika wytrzymałości łączonych części. Wyniki analityczne porównano z wynikami badań doświadczalnych (tab. 5 i 6).

Porównanie wyników dla punktów 5 i 6 (tab. 5) wykazuje dość dobrą zgodność. Przy małej wartości obciążenia wartości są niemal identyczne, natomiast wraz ze wzrostem różnice rosną. Nieco inaczej sytuacja przedstawia się w przypadku punktów 7 i 8 (tab. 5). Wartości uzyskanych naprężeń wykazują dobrą zbieżność w całym zakresie analizy. Graficzne zobrazowanie rozkładu naprężeń składowych próbki P-1 wg obliczeń analitycznych (od rozciągania – σ_F i zginania – σ_M oraz całkowitych – σ_C) przy sile rozciągającej równej 45 kN przedstawiono na rysunku 12. Zestawienie porównawcze wyników analizy naprężeń próbki P-2 przedstawiono w tabeli 6. Podobnie jak w przypadku próbki P-1 wartości naprężeń przy małej sile wykazują małe

różnice. Przy większych wartościach różnice wartości naprężeń zwiększają się.

Rozkład naprężeń składowych wyznaczonych na podstawie obliczeń analitycznych próbki P-2 przy sile 46 kN przedstawiony został na rysunku 13.

Ostatnim etapem badań była analiza komputerowa metodą elementów skończonych w programie Abaqus/CAE [1]. Celem analizy numerycznej jest weryfikacja i walidacja wyników analizy z wynikami badań doświadczalnych. W tym celu do obliczeń MES wykonane zostały modele próbki P-1 i P-2. Wszystkie elementy modelu (blachy oraz spoiny) wykonano jako elementy brytowe (3CD8R). Wymiary modelu odpowiadają tym, jakie miały próbki rzeczywiste. Spoinę zamodelowano jako graniastosłup o podstawie trójkąta równoramiennego o wysokości równej średniej grubości spoin z pomiarów według tabeli 2. W analizie nie uwzględniono efektu zwiększenia grubości spoiny oraz powstania dodatkowych naprężeń będących efektem procesu spawania (brak zastosowania analizy termodynamicznej procesu spawania). Wiązania pomiędzy poszczególnymi elementami modelu (spoina – blacha) wykonano poprzez powiązanie powierzchni w miejscach kontaktu (wiązanie typu Tie). Odwzorowanie zamocowania w maszynie wytrzymałościowej dokonano poprzez zastosowanie odpowiednich warunków brzegowych na zadanej długości blach skrajnych. Pierwszy koniec blachy zamocowano opcją blokowania wszystkich obrotów i przesuwów (opcja Encastre). Na drugim końcu zastosowano opcję blokowania wszystkich obrotów z możliwością przesuwu wzdłuż osi podłużnej modelu. Obciążenie modelu wprowadzono poprzez dodatkowe obciążenia skupione w punkcie odniesienia (Referent point) utworzonego w osi głównej większej blachy. Obciążenie to zostało równomiernie rozłożone na powierzchnię czołową blachy (opcja Coupling). Parametry materiałowe wprowadzone do programu są oparte na wynikach wartości nominalnych otrzymanych z badań wytrzymałościowych według tabeli 2. Krzywą naprężenie – odkształcenie o wartościach rzeczywistych wyznaczono na podstawie wartości nominalnych wg wzoru 4 i 5:

$$\sigma_{true} = \sigma_{nom} (1 + \epsilon_{nom}), \quad (4)$$

$$\epsilon_{true}^p = \ln (1 + \epsilon_{nom}) - \left(\frac{\sigma_{true}}{E} \right), \quad (5)$$

gdzie:

σ_{nom} – naprężenia nominalne [MPa],

ϵ_{nom} – odkształcenie nominalne,

σ_{true} – naprężenia rzeczywiste [MPa],

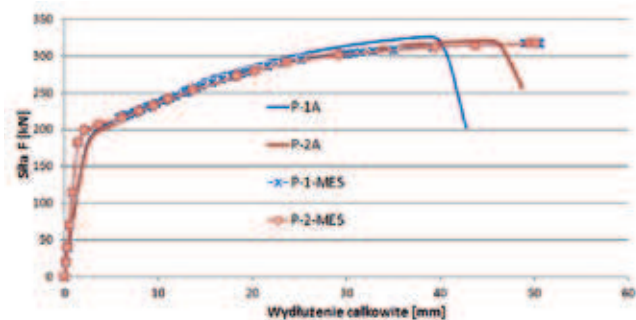
E – moduł Younga [MPa].

Rozmiar oczka siatki określono równy 5 mm. W okolicy połączenia jak i w spoinach rozmiar siatki przyjęto równy 2,5 mm. W obliczeniach zastosowano geometrycznie i materiałowo nieliniowo analizę statyczną (GMNA). Widok modeli pokazano na rysunku 14.

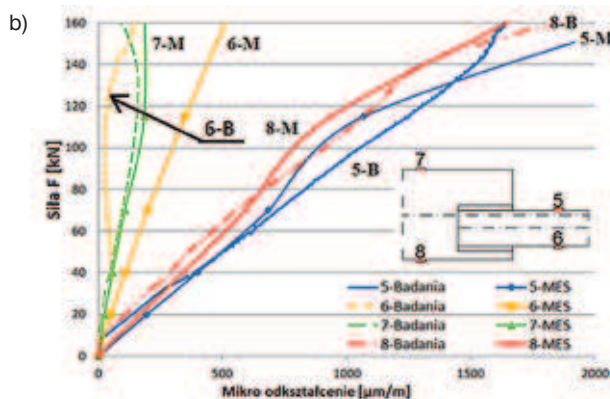
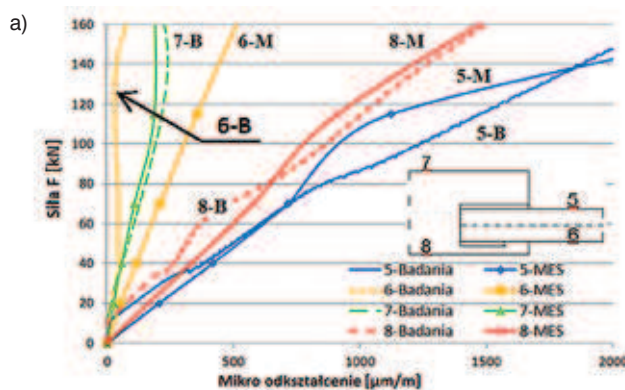
Porównanie wykresu siła F – wydłużenie całkowite próbek w trakcie badań i analizy MES przedstawiono na rysunku 15. Uzyskane wartości wykazują dobrą zbieżność wyników. Kolejnym etapem walidacji było porównanie wyników odkształceń podłużnych w wybranych punktach blach (rys. 16).



Rys. 14. Model próbki: a) P-1, b) P-2



Rys. 15. Wykres siła F – wydłużenie całkowite wyników badań i analizy MES



Rys. 16 Wykres siła F – odkształcenie podłużne wybranych punktów blach w trakcie badania i analizy MES dla: a) próbki P-1, b) próbki P-2

Rozmieszczenie punktów pomiarowych odpowiadało rozmieszczeniu tensometrów na próbkach w badaniach doświadczalnych. Wartości odkształceń próbki P-1 i P-2 (rys. 16) dla punktów 5, 7 i 8 uzyskały dobrą zgodność wyników. Nieco inne wartości wystąpiły w punkcie 6, gdzie przyrost odkształceń w analizie komputerowej był liniowy.

5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych i otrzymanych wyników stwierdzić można, że:

- projektowanie nierównomiernego układu spoin (rys. 1) nie prowadzi do wyeliminowania mimośrodów połączenia,
- zastosowanie nierównomiernego czy równomiernego układu spoin w połączeniu zakładkowym w takim samym stopniu wpływa na zachowanie połączenia, czego dowodem jest niemal jednakowy rozkład odkształceń blach w wybranych punktach jak również obraz deformacji po badaniu,
- ze względów praktycznych zaleca się stosowanie równomiernego (symetrycznego) układu spoin,
- moment zginający powstały poprzez występowanie mimośrodu połączenia w złączach zakładkowych blach oddziałuje w głównej mierze na elementy łączone (blachy),
- w projektowaniu nośności pręta rozciąganego w połączeniu zakładkowym z mimośrodem zaleca się uwzględnić wpływ mimośrodu na nośność przekroju jako interakcję siły osiowej i momentu zginającego,
- wielkość mimośrodu przypadająca na poszczególne części połączenia nie jest jednakowa, jest wprost proporcjonalna

do stosunków wskaźników wytrzymałości łączonych elementów w połączeniu,

- eliminacja mimośrodu połączenia dokonana się poprzez uplastycznienie i wygięcie blach, co doprowadziło do wspólnego ich ustawienia względem siebie,
- różne układy spoin prezentowały odmienne odkształcenia w wybranych punktach, lecz nie wpłynęło to na nośność spoin – nie zaobserwowano zniszczenia spoin.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Abaqus CAE Dassault Systemes Simulia Corp.
- [2] Augustyn J., Połączenia spawane i zgrzewane, Arkady, 1987
- [3] Bródka J., Kozłowski A., Ligocki I., Łąguna J., Słęczka L., Projektowanie i obliczanie połączeń i węzłów konstrukcji stalowych, tom 1 i 2, PWT, 2013
- [4] Abi-Saad G., Benaddi A., Bauer D., Shear lag in tension member welded connection. 33rd Annual General Conference of Canadian Society of Civil Engineering, Toronto, Ontario, Canada, czerwiec 2–4, 2005
- [5] Janas L., Akredytowane laboratorium badań konstrukcji na Wydziale Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej, Inżynieria i Budownictwo 10/2016
- [6] Kukła D., Badanie i analiza połączeń spawanych oraz prętów rozciąganych z mimośrodem, Politechnika Rzeszowska, praca magisterska, 2016
- [7] Kukła D., Kozłowski A., Badania doświadczalne spawanych połączeń kątowników nierównoramiennych z blachą węzłową, Inżynieria i Budownictwo 10/2016
- [8] PN-EN 1993-1-8:2006 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-8: Projektowanie węzłów, PKN, Warszawa 2005
- [9] PN-EN ISO 9018 Badania niszczące spoin w metalach. Badanie na rozciąganie złączy krzyżowych i zakładkowych, PKN, Warszawa, 2008
- [10] PN-EN 10002-1 Metale – Próba rozciągania. Część 1: Metoda badania w temperaturze otoczenia, PKN, Warszawa, 2004
- [11] Werner G., Feder D., Determination of carrying capacity of fillet-welded lap joints by a stepwise numerical procedure. International Institute of Welding, Dublin, 1978
- [12] Wichtowski B., Wymagania normowe dotyczące spoin pachwinowych i rozkład naprężeń w spoinach podłużnych połączeń zakładkowych, Inżynieria i Budownictwo 1/2017



Doroczne Forum & Premiera Raportu

BUDOWNICTWO W POLSCE 2019

BRANŻOWA DEBATA ROKU

KIERUNKI ZMIAN I STRATEGIE DECYDUJĄCE O KSZTAŁCIE RYNKU!

4 października 2018 r., Hotel Renaissance, Warszawa

PONAD 150 DECYDENTÓW
w jednym miejscu!

Więcej: www.forum-budownictwo.com