

dr hab. inż. Radosław Jasiński, prof. PŚ<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0003-4015-4971

dr inż. Iwona Galman<sup>1)\*</sup>

ORCID: 0000-0002-0196-6478

# Propozycja analitycznego opisu faz pracy zbrojonego połączenia ścian murowanych wykonanych z ABK

*A proposal for an analytical description of the work phases of the reinforced connection of masonry walls made of AAC*

DOI: 10.15199/33.2020.06.02

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono opis zachowania się połączeń zbrojonych ścian z autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK). Jako zbrojenie zastosowano klasyczne blaszki perforowane, a także autorskie łączniki. Analogicznie jak w przypadku połączeń niezbrojonych (przedstawionych we wcześniejszej publikacji) określono i zdefiniowano fazy pracy połączenia. Zaproponowano empiryczne podejście umożliwiające określenie sił i przemieszczeń połączenia z wykorzystaniem wyników badań pochodzących z mniej skomplikowanych badań standardowych. **Słowa kluczowe:** konstrukcje muru; sztywność połączeń; połączenia ścian, łączniki, połączenia zbrojone.

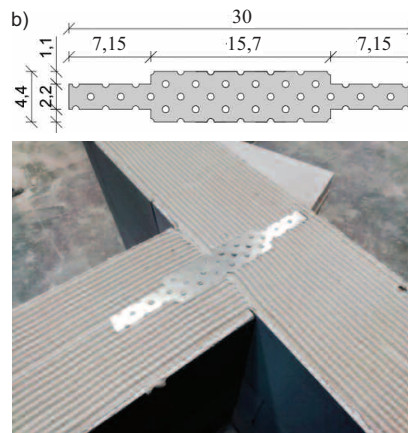
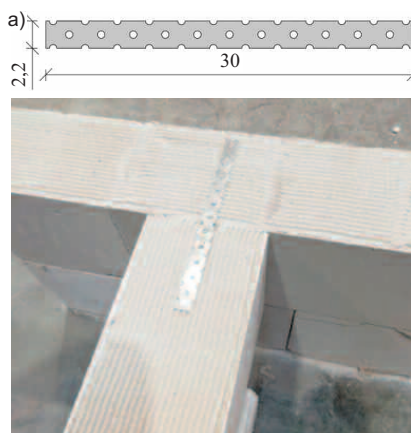
**Abstract.** The article presents a description of the behavior of joints of reinforced walls of autoclaved aerated concrete. Classic a punched flat profile were used as reinforcements, as well as proprietary connectors. Similarly as in the case of unreinforced connections (presented in an earlier publication) individual phases of the connection's operation were defined. An empirical approach was proposed to determine the forces and displacements of the wall connection using test results from less complex standard tests.

**Keywords:** masonry structures; stiffness of connection; wall joints, connectors, bed joint reinforcement.

Prezentowane w artykule badania są częścią kompleksowych badań połączeń ścian prowadzonych w Laboratorium Budownictwa Politechniki Śląskiej [1, 2, 4], które mają na celu opisanie mechanizmu zarysowania i zniszczenia połączenia murowego wykonanego za pomocą różnych typów łączników. Dzięki analizom i wnioskom z badań powstaną wytyczne umożliwiające wyznaczanie wielkości sił wewnętrznych i naprężeń działających w miejscu krzyżujących się ścian. Nadzrędnym celem badań jest opisanie warunków służących do sprawdzenia ULS i SLS połączeń ścian wymaganych przez Eurokod 6. Wcześniejsze badania pilotażowe [3] pozwoliły na zoptymalizowanie kształtu łącznika i stworzenie autorskiej blaszki, którą wykorzystano w badaniach prezentowanych w tym artykule.

do spoin cienkowarstwowych, bez wypełniania spoin czołowych. Mury o monosymetrycznym kształcie badano w specjalnym do tego celu skonstruowanym stanowisku badawczym do połączeń ścian. Dokładny opis techniki badań i stanowiska badawczego omówiono w [2]. Przedstawiona w artykule analiza wyników badań dotyczy połączeń pomiędzy ścianami, ukształto-

wanych za pośrednictwem stalowych łączników. Łączniki przebadano w dwóch seriach, każda po trzy elementy badawcze. W serii **B10** zastosowano pojedyncze płaskowniki otworowane (fotografia a), natomiast w serii **BP10** blaszki o kształcie zmodyfikowanym z poszerzoną strefą środkową (fotografia b). Rozwiązanie takie zaproponowano na podstawie własnych badań [3] łącz-



**Geometria i szczegóły modeli badawczych: a) metoda połączenia płaskownikiem otworowanym (seria B10); b) metoda połączenia płaskownikiem otworowanym poszerzonym (seria BP10) [wymiarzy w cm]**

*Geometry and details of test models: a) joining method with a punched flat bar (series B10); b) joining method with a punched widened flat profile (series BP10) [dimensions in cm]*

## Badania

Badania przeprowadzono na modelach wykonanych z elementów murowych z ABK na zaprawie systemowej

<sup>1)</sup> Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa

<sup>\*</sup> Adres do korespondencji: iwona.galman@polsl.pl

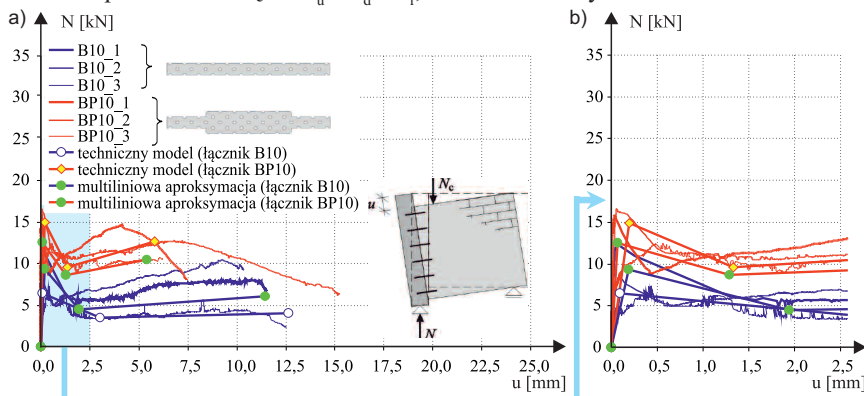
ników perforowanych. Poszerzenie miało na celu zwiększenie nośności giętej łącznika oraz sztywności i zmniejszenie naprężeń docisku. Zaproponowany kształt jest chroniony prawem autorskim na podstawie zgłoszenia do UPRP [8]. W obu seriach użyto łączników stalowych wykonanych ze stalowej ocynkowanej blachy perforowanej grubości 1 mm.

Podobnie jak w przypadku połączeń niezbrojonych [4], fazy pracy zbrojonych połączeń przedstawiono na wykresach zależności obciążenie  $N$  – względne (wzajemne) przemieszczenie  $u$  łączonych ścian (rysunek 1). Do chwili zarysowania styku, które wystąpiło przy maksymalnym obciążeniu  $N_{cr} = N_u$  fazę określono mianem fazy sprężystej. Po zarysowaniu w fazie zniszczenia wyraźnie zwiększyły się przemieszczenia i zmniejszyły siły do wartości  $N_d$ . Po osiągnięciu siły  $N_d$  w fazie zniszczenia połączenie wykazywało jeszcze zdolność do przyjmowania obciążenia. Ponadto wystąpiło nieznaczne wzmocnienie.

## Walidacja modelu

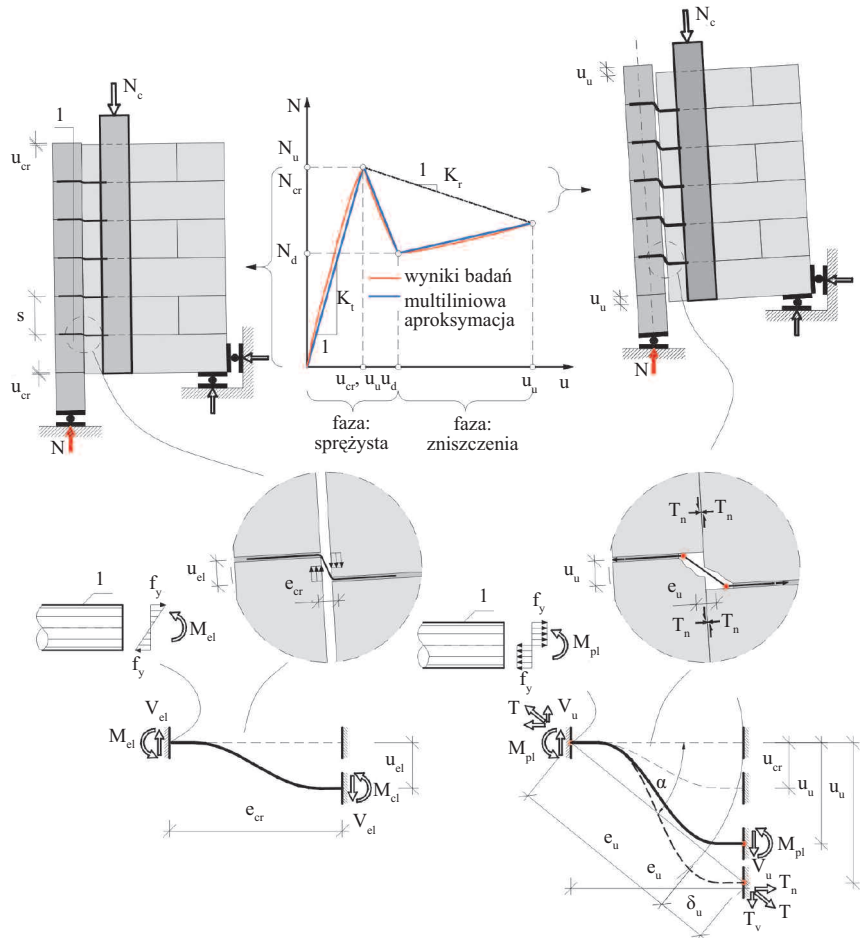
Zaobserwowane fazy pozwoliły zbudować wieloodcinkowy wykres zależności  $N - u$  pracy zbrojonego połączenia ścian murowych z ABK (rysunek 2). Identyfikacja jak w przypadku niezbrojonych połączeń uogólniono uzyskane rezultaty. Przyjęto następujące założenia:

- nieliniową zależność  $N - u$  uzyskaną w badaniach zastąpiono zależnością wieloodcinkową (multiliniowa aproksymacja), opisującą wszystkie obserwowane fazy pracy: i. faza sprężysta występująca w przedziale obciążeń  $0 - N_{cr} = N_u$ ; ii. faza zniszczenia w przedziale obciążeń  $N_u - N_d - N_r$ ;



Rys. 1. Zależność między siłą całkowitą a średnim przemieszczeniem – wyniki testu (a) i obliczenia (b)

Fig. 1. Relationship between the total force and mean displacement – for test results (a) and calculations (b)



Rys. 2. Aproksymacja pracy zbrojonego połączenia ścian murowych (1-łącznik)

Fig. 2. Approximation of work of reinforced joint between masonry walls (connector 1)

b) wszystkie parametry materiałowe zastosowane w modelu zostaną określone wg standardowych i znormalizowanych metod;

c) zastosowany zostanie sprężysto-idealnie plastyczny model łącznika;

d) model podlegać będzie statystycznej walidacji na podstawie wykonanych badań własnych.

W celu opisu zachowania połączenia skorzystano z pewnych uproszczonych rozwiązań znanych z literatury [6, 7], z których wynika, że łączniki pracują jak obustronnie utwierdzone pręty, a wartość siły wywołującej przemieszczenie  $u$  można zapisać w następującej postaci:

$$V = \frac{12E_s I}{e^3} u \quad (1)$$

Odpowiadający moment zginający w łączniku wynosi:

$$M = \frac{6E_s I}{e^2} u \quad (2)$$

gdzie:

$E_s I$  – sztywność gięta łącznika;  
 $u$  – wzajemne przemieszczenie końców łącznika;  
 $e$  – umowna długość łącznika (odległość między punktami przegięcia).

Procedurę obliczeniową i walidację zamieściliśmy w [5], a wyniki obliczeń w tabeli 1. Porównanie wartości obliczonych i otrzymanych empirycznie zestawiono w tabeli 2 i na rysunku 2. W przypadku łączników bez pogrubienia serii B10,

**Tabela 1. Zestawienie zależności opisujących pracę zbrojonego połączenia ścian**  
*Table 1. Relationships describing the work of reinforced joint between walls*

Faza pracy połączenia	Siła	Sztywność	Przemieszczenie	
<b>Łącznik B10</b>				
Faza sprężysta	$V_u = \frac{2f_y W_{pl}}{e_u} n_c + 0,0056 E_s A \frac{\delta_u}{e_u} \mu$	$K_t = V_u / u_u$	$u_u = 0,145 \frac{f_y W_{pl} e_u^2}{6 E_s I}$	
Faza zniszczenia	$V_d = \frac{2f_y W_{pl}}{e_u} n_c + 0,0027 n_c E_s A \frac{\delta_u}{e_u} \mu$		$K_r = (V_u / V_r)(u_r - u_u)$	$u_d = 4,50 \frac{f_y W_{pl} e_u^2}{6 E_s I}$
	$V_r = \frac{2f_y W_{pl}}{e_u} n_c + 0,0023 n_c E_s A \frac{\delta_u}{e_u} \mu$			$u_r = 18,9 \frac{f_y W_{pl} e_u^2}{6 E_s I}$
<b>Łącznik BP10</b>				
Faza sprężysta	$V_u = \frac{2f_y W_{pl}}{e_u} n_c + 0,0048 n_c E_s A \frac{\delta_u}{e_u} \mu$	$K_t = V_u / u_u$	$u_u = 0,10 \frac{f_y W_{pl} e_u^2}{6 E_s I}$	
Faza zniszczenia	$V_d = \frac{2f_y W_{pl}}{e_u} n_c + 0,0032 n_c E_s A \frac{\delta_u}{e_u} \mu$		$K_r = (V_u / V_r)(u_r - u_u)$	$u_d = 1,93 \frac{f_y W_{pl} e_u^2}{6 E_s I}$
	$V_r = \frac{2f_y W_{pl}}{e_u} n_c + 0,0039 n_c E_s A \frac{\delta_u}{e_u} \mu$			$u_r = 8,1 \frac{f_y W_{pl} e_u^2}{6 E_s I}$

**Tabela 2. Porównanie wyników badań i obliczeń wg modelu standardowego**  
*Table 2. Compared tests results and own calculations for the standard model*

Wyniki badań – łącznik B10			Wyniki obliczeń – łącznik B10		
siły			siły		
$N_{cr,mv} = N_{u,mv}$ [kN]	$N_{d,mv}$ [kN]	$N_{r,mv}$ [kN]	$N_{cr,cal} = N_{u,cal}$ [kN]	$N_{d,cal}$ [kN]	$N_{r,cal}$ [kN]
9,34	4,47	6,07	6,44	3,45	4,06
Przemieszczenia – łącznik B10			Przemieszczenia – łącznik B10		
$u_{cr,mv} = u_{u,mv}$ [mm]	$u_{ag,mv}$ [mm]	$u_{r,mv}$ [mm]	$u_{cr,cal} = u_{u,cal}$ [mm]	$u_{u,cal}$ [mm]	$u_{r,cal}$ [mm]
0,19	1,94	11,45	0,10	3,01	12,6
Wyniki badań – łącznik BP10			Wyniki obliczeń – łącznik BP10		
siły			siły		
$N_{cr,mv} = N_{u,mv}$ [kN]	$N_{d,mv}$ [kN]	$N_{r,mv}$ [kN]	$N_{cr,cal} = N_{u,cal}$ [kN]	$N_{d,cal}$ [kN]	$N_{r,cal}$ [kN]
14,94	9,59	12,69	12,6	8,65	10,43
Przemieszczenia – łącznik BP10			Przemieszczenia – łącznik BP10		
$u_{cr,mv} = u_{u,mv}$ [mm]	$u_{ag,mv}$ [mm]	$u_{r,mv}$ [mm]	$u_{cr,cal} = u_{u,cal}$ [mm]	$u_{u,cal}$ [mm]	$u_{r,cal}$ [mm]
0,19	1,33	5,80	0,07	1,29	5,40

obliczone siły wyznaczające współrzędne poszczególnych faz pracy połączenia były mniejsze od sił uzyskanych w badaniach. Podobnie było w przypadku łączników typu **BP10**. Otrzymano wartości sił mniejsze od wartości doświadczalnych. Obliczone przemieszczenia połączeń z łącznikami były mocno zróżnicowane. W chwili zniszczenia obliczone przemieszczenia okazały się mniejsze od wartości doświadczalnych. Z kolei w fazie zniszczenia otrzymano przemieszczenia odpowiadające sile  $V_d$  większe od wartości doświadczalnych, a w chwili zniszczenia obliczone przemieszczenia były nieznacznie większe. Otrzymałone rezultaty, szczególnie w przypadku sił,

umożliwiają bezpieczne oszacowanie obciążeń w połączeniach i przy braku jakichkolwiek wytycznych sprawdzenie warunków SLS. Największą różnicę uzyskano w przypadku przemieszczeń. Stosowanie zaproponowanych zależności może się wiązać z niedoszacowaniem przemieszczeń w chwili zniszczenia o ok. 50%.

## Podsumowanie

W artykule zaprezentowano analizę wyników badań połączeń ścian ukształtowanych za pośrednictwem stalowych łączników. Określono i zdefiniowano poszczególne fazy pracy połączenia ścian i na tej podstawie zaproponowano empiryczne podejście umożliwiające

określenie sił i przemieszczeń z wykorzystaniem wyników badań pochodzących z mniej skomplikowanych badań standardowych. Ponadto zaproponowano techniczne rozwiązanie umożliwiające wyznaczenie sił powodujących zarysowanie styku oraz sił maksymalnych w połączeniach ścian zbrojonych stalowymi, perforowanymi płaskownikami. Ze względu na niewielką liczebność serii elementów otrzymano różnicę rzędu 31% w przypadku maksymalnych sił w połączeniach z łącznikiem **B10** oraz 26% w przypadku łącznika **BP10**.

## Literatura

- [1] Galman Iwona, Radosław Jasiński, T. Hahn, K. Konopka. 2017. „Badanie połączeń ścian murowych”. *Materiały Budowlane* 542 (10): 94 – 96. DOI: 10.15199/33.2017.10.32.
- [2] Galman Iwona, Radosław Jasiński. 2019. „Wytrzymałość niezbrojonych połączeń ścian z ABK”. *Materiały Budowlane* 559 (3): 58 ÷ 59. DOI: 10.15199/33.2019.03.13.
- [3] Galman Iwona, Radosław Jasiński. 2018. „Tests of joints in AAC masonry walls”. *Architecture Civil Engineering Environment*, vol. 11 no 4, 79 – 92. DOI: 10.21307/ACEE-2018-056.
- [4] Jasiński Radosław, Iwona Galman. 2020. „Propozycja analitycznego opisu faz pracy niezbrojonego połączenia ścian murowych wykonanych z AAC”. *Materiały Budowlane* 573 (5): 45 ÷ 47. DOI: 10.15199/33.2020.05.07.
- [5] Jasiński Radosław, Iwona Galman. 2020. „Testing Joints between Walls Made of AAC Masonry Units”. *Buildings* (10), Issue (4): 69. DOI: 10.3390/buildings10040069.
- [6] Phipps M., E., T. I. Montague. 1996. *The behaviour and design of steel shear connectors in plain and prestressed masonry*. 7th North American Masonry Conference. University of Notre Dame-South Bend, Indiana, USA (2): 789 – 798.
- [7] Simudic G., A. W. Page. 1996. *Australian developments in the use of walls of geometric section*. 7th North American Masonry Conference. University of Notre Dame-South Bend, Indiana, USA 2-5 June 1996. Vol. 2, pp. 1007 – 1018.
- [8] Urząd Patentowy RP, ul. Niepodległości 188/192, 00-950 Warszawa (Polska). Data zgłoszenia: 2019/04/01 Zgłoszenie oznaczono numerem: W.128153. Łącznik do zespalania ścian.

## Podziękowania

Dziękujemy firmie *Solbet Sp. z o.o.* za cenne merytoryczne wskazówki oraz dostarczenie elementów murowych i zaprawy do wykonania modeli badawczych i przeprowadzenia badań. Wyrażamy wdzięczność firmie *NOVA Sp. z o.o.* za dostarczenie gotowych i prototypowych łączników. Przyjęto do druku: 25.05.2020 r.

Partner działu:

**Stowarzyszenie Producentów Betonów**

www.s-p-b.pl



ROK ZAŁOŻENIA 1994