

dr inż. Iwona Galman^{1)*}

ORCID: 0000-0002-0196-6478

prof. dr hab. inż. Radosław Jasiński¹⁾

ORCID: 0000-0003-4015-4971

Procedura i badania weryfikacyjne wyznaczania wytrzymałości na ścinanie połączeń ścian murowanych

Artykuł stanowi kontynuację zagadnień przedstawionych w [1], gdzie opisano autorskie stanowisko badawcze do wyznaczenia wytrzymałości na ścinanie połączenia między ścianami murowanymi. Zaprezentowana tam metoda obejmuje zarówno przygotowanie próbek, jak i sposób ich badania. W tym artykule skoncentrowano się na interpretacji wyników z badań laboratoryjnych. Celem nowej procedury, zbieżnej z zapisami PN-EN 1052-3:2007 [2], jest opracowanie zasad postępowania, które pozwolą na uzyskanie wyników uniwersalnych i powtarzalnych, a tym samym umożliwią rzetelne porównywanie parametrów wytrzymałościowych różnych rozwiązań materiałowych stosowanych w konstrukcjach murowanych.

Procedura

Po montażu elementu badawczego (rysunek 1a), reprezentującego powtarzalny fragment połączenia, na stanowisku opisanym w [1], wywołuje się wstępne naprężenia ściskające σ_{x0} prostopadłe do płaszczyzny połączenia oraz σ_{y0} równoległe do płaszczyzny połączenia. W przypadku każdego elementu próbnego i różnych wartości wstępnych naprężeń ściskających σ_{x0} i σ_{y0} wyznacza się naprężenia ścinające $\tau_{xy,i}$ i całkowite naprężenia ściskające $\sigma_{x,i}$ wg wzorów:

$$\tau_{xy,i} = \frac{H_i}{A_i} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1)$$

$$\sigma_{x0,i} + \tau_{xy,i} \frac{e}{Z} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2)$$

gdzie:

e – mimośród obciążenia pionowego [mm];

Z – ramię sił wewnętrznych [mm];

H_i – siła pozioma [N];

A_i – pole powierzchni pionowego przekroju modelu [mm²].

¹⁾ Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

^{*)} Adres do korespondencji: iwona.galman@polsl.pl

Wartości naprężeń ścinających (1) w chwili zniszczenia, wraz z odpowiadającymi im naprężeniami poziomymi σ_x (2), należy nanieść na wykres $\tau - \sigma$ (rysunek 1b), a następnie dopasować linię regresji:

$$y = b + ax \rightarrow \tau = f_{vv0} + \text{tg}\phi \sigma_x \quad (3)$$

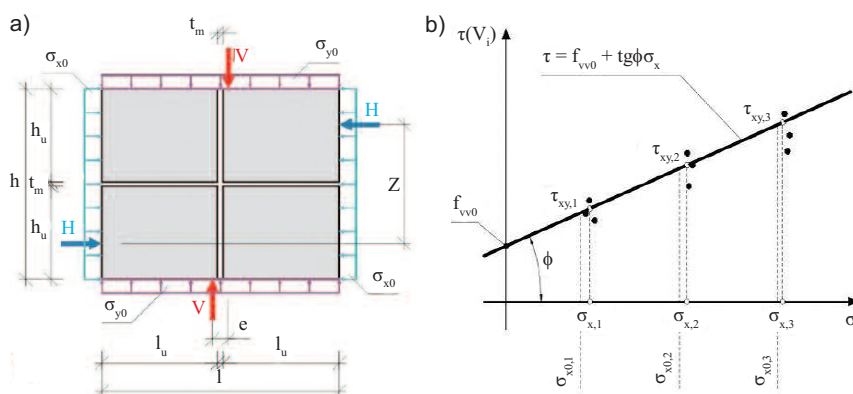
Początkowa wytrzymałość na ścinanie odpowiada wyrazowi wolnemu prostej regresji $b = f_{vv0}$, a tangens kąta tarcia wewnętrznego tangensowi nachylenia prostej regresji $a = \text{tg}\phi$. Wartość wytrzymałości na ścinanie f_{vv0} należy zapisywać z dokładnością do 0,01 N/mm², a kąt tarcia wewnętrznego z dokładnością do jednego stopnia. Znajomość f_{vv0} umożliwia obliczenie naprężeń głównych w płaszczyźnie połączenia (rysunek 2a). Naprężenia σ_y w płaszczyźnie złącza (rysunek 2b) wyznacza się wg wzoru:

$$\sigma_y = \sigma_x + 2b = \sigma_x + 2\tau_{xy} \text{tg}\phi \quad (4)$$

Naprężenia główne odpowiadające zniszczeniu wyznacza się z wzoru:

$$\sigma_{1,2} = \sigma_y + \tau_{xy} (\text{tg}\phi \pm \sqrt{1 + \text{tg}^2\phi}) \quad (5)$$

Kąt odchylenia naprężeń głównych (odpowiadających kierunkowi powstania rys) względem przyjętego układu współrzędnych można obliczyć z zależności:



Rys. 1. Idea wyznaczania parametrów ścinania: a) schemat statyczny badanych elementów; b) procedura określania początkowej wytrzymałości na ścinanie f_{vv0} i kąta tarcia wewnętrznego

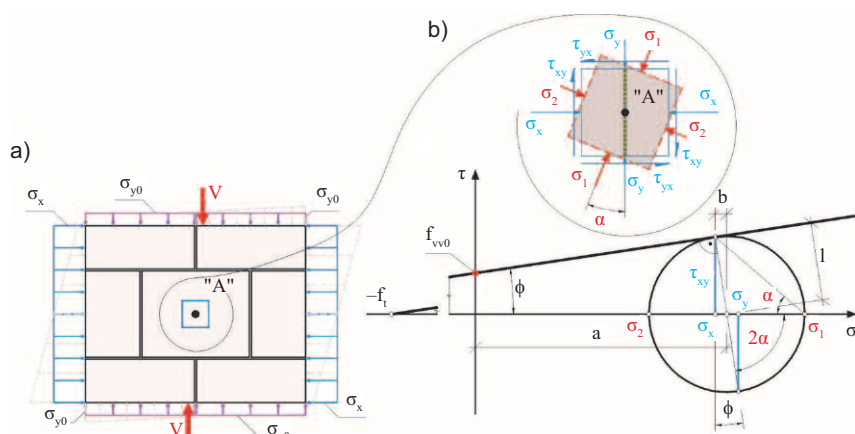
$$\text{tg}\alpha = \frac{1}{\text{tg}\phi + \sqrt{1 + \text{tg}^2\phi}} \quad (6)$$

Badania weryfikacyjne

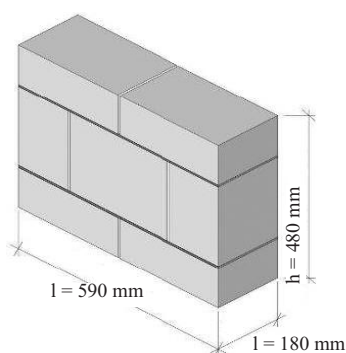
Badania przeprowadzono na stanowisku opisanym w [1] i modelach z autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK). Modele łączono zaprawą cienkowarstwową M5 z niewypełnionymi spoinami pionowymi. Parametry muru: $f_c = 2,97 \text{ N/mm}^2$ oraz $E_m = 2040 \text{ N/mm}^2$ zgodnie z PN-EN 1052-1:2000 [3, 4], początkowa wytrzymałość na ścinanie $f_{v0} = 0,31 \text{ N/mm}^2$ wg PN-EN 1052-3:2007 [2, 5], współczynnik tarcia $\mu = 0,92$ [6], a moduł ścinania $G = 329 \text{ N/mm}^2$ wg ASTM E519-81 [7].

Zgodnie z procedurą wg [8] zastosowano wstępne naprężenia ściskające $\sigma_{x0} = \sigma_{y0} = 0,1; 0,3 \text{ i } 0,5 \text{ N/mm}^2$ wg normy PN-EN 1052-3:2007 [2]. Wykonano dziewięć identycznych modeli badawczych składających się z trzech warstw bloczków ABK każdy, po trzy sztuki w każdej serii oznaczonej jako P_01, P_03 i P_05. Wszystkie modele miały wymiary $590 \times 480 \times 180 \text{ mm}$ (rysunek 3).

W przypadku serii P_01 odnotowano zróżnicowany przebieg zniszczenia. Pierwsza rysa ukośna pojawiła się przy ok. 40% siły $V_{\max}$, a dalsze obciążanie



Rys. 2. Koncepcja wyznaczania parametrów ścinania: a) stan naprężeń w przekroju zniszczenia; b) procedura obliczania naprężeń głównych σ_1 i σ_2 odpowiadających zniszczeniu wskutek ścinania [8]

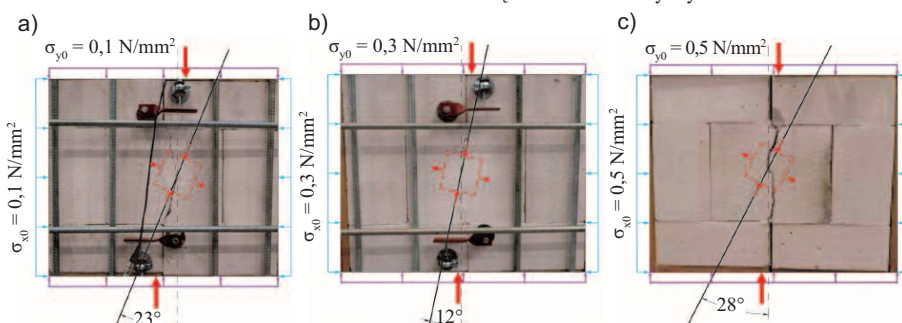


Rys. 3. Geometria modelu badawczego

doprowadziło do powstania rysy wtórnej (fotografia a). Kąt nachylenia rys wynosił 21 – 26°.

W przypadku serii P_03 zaobserwowano ukośne rysy główne, a następnie niemal pionowe rysy wtórne w obszarze spoin niewypełnionych (fotografia b). Kąt nachylenia rys wynosił 12 – 28°. W serii P_05 wszystkie próbki zachowywały się podobnie: nie odnotowano rys początkowych, a kąt nachylenia ukośnej rysy głównej i wtórnej pionowej (fotografia c) wyniósł 17 – 37°.

Mechanizm zniszczenia modeli badawczych zależał od wartości naprężeń wstępnych σ_{x0} i σ_{y0} . Rysy główne przed zniszczeniem wystąpiły jedynie w serii P_01 ($\sigma_{x0} = \sigma_{y0} = 0,1 \text{ N/mm}^2$), przy średnim nachyleniu 23,3°. W seriach P_03 i P_05 (0,3 oraz 0,5 N/mm²) zniszczenie było gwałtowne, a średni kąt nachylenia rys to 22 i 27,3°.



Sposób zarysowania badanych modeli badawczych w chwili zniszczenia (opis w artykule)

Zgodnie z procedurą opisaną w [8], w projektowaniu istotne są parametry określone przy obciążeniach maksymalnych $V_{\max}$. W analizowanym przypadku początkowa wytrzymałość na ścinanie wyniosła $f_{vv0} = 0,54 \text{ N/mm}^2$, współczynnik tarcia 0,15, kąt tarcia $\phi = 36,8^\circ$, a kąt nachylenia naprężeń głównych $\alpha = 29,2^\circ$.

Innowacyjność zaprezentowanej metody

W artykule przedstawiono sposób interpretacji wyników badań uzyskanych na nowatorskim stanowisku badawczym, przeznaczonym do wyznaczania wytrzymałości pojedynczego połączenia pomiędzy ścianami. Zastosowane rozwiązanie minimalizuje wpływ momentów zginających w strefie połączenia, przy jednoczesnej kontroli naprę-

żeń normalnych w dwóch kierunkach (σ_x i σ_y), co stanowi istotną innowację względem wcześniej stosowanych metod. Zaproponowana metodyka może stanowić podstawę przyszłych standardów badawczych dotyczących połączeń ściennych oraz wytycznych projektowych dla konstrukcji murowanych.

Literatura

- [1] Galman I, Jasiński R. Stanowisko badawcze do wyznaczania wytrzymałości na ścinanie połączeń ścian murowanych. *Materiały Budowlane*. 2025; 2: 49 – 50.
- [2] PN-EN 1052-3:2007 Metody badań murów – Część 3: Określanie początkowej wytrzymałości na ścinanie.
- [3] PN-EN 1052-1:2000 Metody badań murów – Część 1: Określanie wytrzymałości na ściskanie.

- [4] Jasiński R, Drobiec Ł. Comparison Research of Bed Joints Construction and Bed Joints Reinforcement on Shear Parameters of AAC Masonry Walls. *J. Civ. Eng. Arch.* 2016; 10 (1329).
- [5] Drobiec Ł, Jasiński R. Wpływ rodzaju zaprawy na parametry mechaniczne murów z betonu komórkowego obciążonych ścinaniem – podstawowe parametry wytrzymałościowe. *Materiały Budowlane*. 2015; 5: 106 – 109.
- [6] Jasiński R. Badania i modelowanie ścinania murów. Monografia, Politechnika Śląska, Gliwice, 2017.
- [7] ASTM E519-81. Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) of Masonry Assemblies; American Society for Testing and Materials: West Conshohocken, PA, USA, 2000.
- [8] Zgłoszenie nr P. 450414 w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej z 2.12.2024 r. o udzielenie patentu na wynalazek pt.: „Sposób wyznaczenia wytrzymałości na ścinanie połączeń ścian murowanych”.

Autorzy dziękują firmie Solbet Sp. z o.o. za cenne wskazówki merytoryczne oraz dostarczenie elementów murowych i zaprawy wykorzystanych do wykonania modeli badawczych i przeprowadzenia badań.

Partner działu:

Stowarzyszenie Producentów Betonów

www.s-p-b.pl



ROK ZAŁOŻENIA 1994