

W artykule „Wytrzymałość na ścinanie połączenia zaprawy z ABK” przedstawiono amerykańskie badania, których wyniki dowodzą, że obowiązującą w amerykańskich przepisach nominalną wytrzymałość na ścinanie na powierzchni styku zaprawy i ABK wynoszącą 255 kPa można zwiększyć do 345 kPa. Tematyka ta była prezentowana podczas V Międzynarodowej Konferencji pt. „Autoklawizowany Beton Komórkowy”, która odbyła się w 2011 r. w Bydgoszczy.

MSc. Miguel Forero Henao*
prof. Richard E. Klingner**

Wytrzymałość na ścinanie połączenia zaprawy z ABK

Interface shear transfer between grout and AAC masonry

W USA konstrukcje murowe z autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK) projektuje się zgodnie z postanowieniami Załącznika A do normy MSJC (Masonry Standards Joint Committee – Komitet Wspólny ds. Norm Murowych) z 2008 r. [5]. Rozdział A. 1.8.4 tej normy wymaga sprawdzenia wytrzymałości na ścinanie na powierzchni styku między zaprawą a ABK przy przyjęciu nominalnej wytrzymałości na ścinanie 255 kPa. Wytrzymałość projektowa jest iloczynem wytrzymałości nominalnej i współczynnika redukcji, który wynosi 0,80. Nominalna wytrzymałość na ścinanie – 255 kPa znajdowała się w dolnym fraktylu wyników badań przeprowadzonych przez Tannera [8]. Choć wartość tę uważano za wystarczająco bezpieczną podczas opracowywania postanowień MSJC w 2008 r. [5], uznano, że należy ją zweryfikować. To stanowi cel badań przedstawionych w artykule.

Badania

Badaniom poddano osiemnaście identycznych próbek z jednorodnego bloku 203 x 203 x 610 mm z ABK klasy wytrzymałości 4, z centralnym otworem średnicy 76 mm. W środku otworu umieszczono pręt zbrojeniowy nr 4 (12 mm) zgodny z klasyfikacją Grade 60

normy ASTM A615-09 [3]. Otwór wypełniono gruboziarnistą zaprawą zgodnie z normą ASTM C476-09 [2], w proporcjach wg specyfikacji zawartej w [6]. Długość zakotwienia pręta zbrojeniowego w otworze wypełnionym zaprawą była równa wysokości bloczka z ABK i wynosiła 203 mm. Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 1.

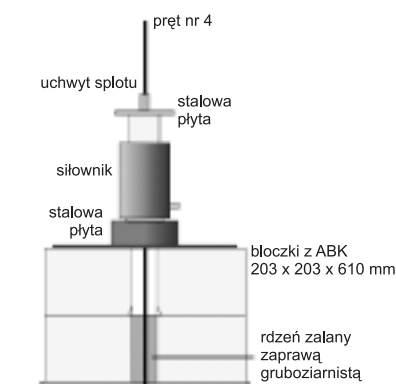
Badania przeprowadzono po 28 dniach od wykonania próbek. Podczas badań siłownik, wyciągając pręt zbrojeniowy, powodował powstawanie sił ścinających między prętem a zaprawą oraz na styku zaprawy i ABK. Możliwe sposoby zniszczenia to zerwanie pręta, ścięcie w zaprawie, zerwanie wiązania między prętem a zaprawą oraz ścięcie na powierzchni styku zaprawy i ABK. Próbkę zostały tak zaprojektowane, aby zniszczenie nastąpiło na styku zaprawy i ABK. Przyjmując, że

nominalna, określona w normie [5], wytrzymałość na ścinanie na powierzchni styku między zaprawą a ABK wynosi 255 kPa, prognozowana wytrzymałość próbek powinna mieć wartość 12,41 kN. Jeśli natomiast założymy, że średnia wytrzymałość na ścinanie na powierzchni styku między zaprawą a ABK to 400 kPa, wówczas prognozowana wytrzymałość przyjmie wartość 19,44 kN. Prognozowana wytrzymałość w przypadku innych możliwych sposobów zniszczenia wynosiła co najmniej 1,25 powyżej tej wartości. W przypadku prętów zbrojeniowych nr 4 (12 mm) te wartości dla granicy plastyczności i zerwania wynoszą odpowiednio 54,18 kN i 86,30 kN.

Wymagana długość zakotwienia zbrojenia w zaprawie (l_d) została obliczona z równania A-6 zamieszczonego w normie [5], gdzie: f_y – granica plastyczności zbrojenia, f_g – wytrzymałość zaprawy podczas badań na wrywanie i z uwzględnieniem tylko otulenia zaprawą.

$$l_d = \frac{0,13d_b^2 f_y \gamma}{K_{AAC} \sqrt{f'_g}}$$

W tym równaniu $\gamma = 1,0$ dla prętów od nr 3 (9,5 mm) do nr 5 (16 mm); natomiast K_{AAC} to najmniejsza wartość spośród: minimalnej otuliny, odległości między kolejnymi prętami zbrojeniowymi i $5d_b$, gdzie d_b – średnica pręta. W takim przypadku, jak pokazano w tabeli 1, wymagana długość zakotwienia pręta nr 4 (12 mm) wynosi 532 mm. Przy założeniu, że wytrzymałość jest



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego wraz z badaną próbką

* Suncoast Post-Tension Ltd., Houston, Texas; były asystent naukowy The University of Texas at Austin, Austin, Texas

** The University of Texas at Austin, Austin, Texas

Tabela 1. Wymagana długość zakotwienia pręta zbrojeniowego w badaniach na wrywanie [5]

Średnica pręta d_b [mm]		Obliczanie K_{AAC} [mm]				Wytrzymałość zaprawy f_g [MPa]	Wymagana długość zakotwienia l_d [mm]
		$5d_b$	otulina	odstęp między prętami	K_{AAC}		
Nr 4 (12 mm)	12,70	63,50	31,75	–	31,75	38,27	532

proporcjonalna do długości zakotwienia, prognozowana wytrzymałość odpowiadająca zakotwieniu na 203 mm to 25,49 kN. Granicę plastyczności i wytrzymałości na rozciąganie prętów nr 4 (12 mm), zastosowanych w próbkach do badań, podano w tabeli 2.

Wytrzymałość na ściskanie zaprawy zgodnie z normą ASTM C1019-09 [4] przedstawiono w tabeli 3. Zgodnie z [4] wykonano 6 próbek zaprawy. Pierwsze trzy poddano badaniom ok. 28 dni po wykonaniu, a pozostałe trzy – zaraz po przeprowadzeniu badań na wrywanie. Wyniki badania jednej z próbek zostały pominięte, ponieważ była niewłaściwie wykonana, co spowodowało przy jej ścisaniu niewspółśrodkowe zniszczenie zamiast typowego zniszczenia przy ścisaniu.

Tabela 2. Wytrzymałość na rozciąganie prętów zastosowanych w próbkach w testach na wrywanie

Pręt/średnica	Próbka	Granica plastyczności		Wytrzymałość	
		obciążenie [kN]	naprężenie [MPa]	obciążenie [kN]	naprężenie [MPa]
Nr 4 (12 mm)	4A	54,27	420,6	86,38	669,5
	4B	54,09	419,3	86,16	667,7
	atest hutniczy	55,60	430,9	98,31	761,9

Tabela 3. Wytrzymałość na ściskanie zaprawy

Próbka zaprawy	Powierzchnia [mm ²]	Obciążenie [kN]	Wytrzymałość [MPa]	Średnia [MPa]
AP1	11 080	304,0	27,44	27,58
AP2	11 190	311,0	27,79	
AP3	10 880	150,5	–	
AP4	11 010	417,7	37,92	38,27
AP5	10 920	403,5	36,96	
AP6	10 890	434,6	39,92	

Stanowisko badawcze

W związku z tym, że próbki umieszczono na ułożonej na podłodze skleje z otworami przytrzymującymi dolny koniec pręta zbrojeniowego, na dole każdej próbki wystaje niewielki odcinek pręta (rysunek 1). Na górze próbki umieszczono drugi blok z otworem średnicy 76 mm. Dolna krawędź otworu w górnym bloku została sfazowana, aby podczas badań uniknąć stykania się górnego bloku z zaprawą rdzenia. Na górnym bloku umieszczono stalową płytkę z otworem w środku i przyłożono obciążenie 111 kN oraz siłownik z otworem w środkowej części. Siłownik podłączono do manometru i ręcznej pompy hydraulicznej. Na siłowniku umieszczono również małą metalową płytkę z otworem.

Za pomocą potencjometrów mierzono przesunięcia: na górze bloku stalowej płyty, a na dole – płyty leżącej na podnośniku. Oba pomiary prowadzone były względem podłoża. Przesunięcie między płytami zostało obliczone z różnicy między odczytami mierników. Wyniki były rejestrowane automatycznie z częstotliwością jeden odczyt na sekundę.

Procedura badawcza. Próbki obciążano do momentu zniszczenia, wykorzystując ręczną pompę hydrauliczną. Przy badaniu pierwszej próbki nastąpiło pęknięcie górnego bloku. Został on zastąpiony podobnym blokiem, który dodatkowo opasano taśmą. Pozwoliło to na ponowne wykorzystanie tego samego bloku podczas badania próbek od drugiej do dziewiątej. W podobny sposób użyto trzeciego bloku do przeprowadzenia badań próbek od dziesiątej do osiemnastej, chociaż również ten blok uległ pęknięciu w momencie zniszczenia dziesiątej próbki. Wszystkie próbki obciążano w tempie 69 MPa/min (dotyczy to naprężenia pręta zbrojeniowego). Średni przyrost obciążenia wynosił 45,4 MPa/min. Trudności w obciążaniu próbek z założoną szybkością spowodowane były użyciem ręcznego siłownika.

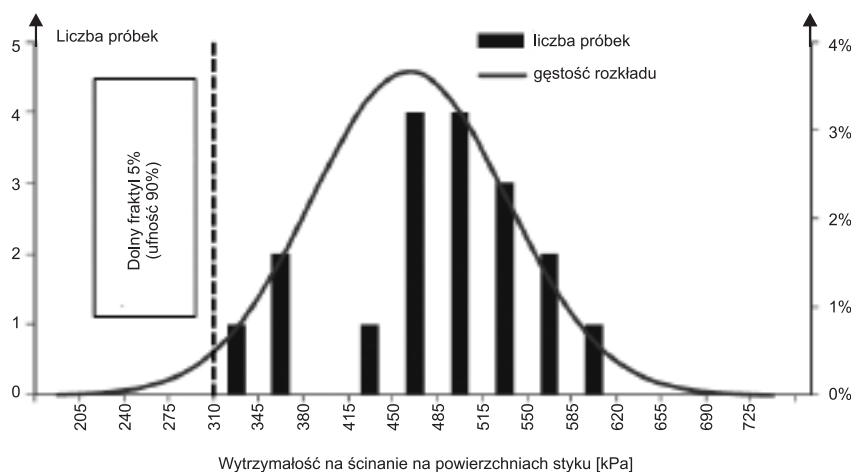
Wyniki badań

W przypadku każdej próbki maksymalne obciążenie niszczące oraz odpowiadające mu średnie naprężenie ścinające na powierzchni styku przedstawiono w tabeli 4. Średnie naprężenie ścinające na powierzchni styku obliczono z ilorazu maksymalnego obciążenia niszczącego i pola powierzchni styku między zaprawą a bloczkiem z ABK. W tabeli 4 zostały również ujęte średnia, mediana, standardowe odchylenie (s) oraz współczynnik zmienności.

Znaczenie wyników badań. Histogram i krzywe gęstości rozkładu na podstawie wyników badań przedstawiono na rysunku 2. Nominalna wytrzyma-

Tabela 4. Podsumowanie wyników badań na wrywanie

Oznaczenie próbki	Obciążenie niszczące [kN]	Naprężenie ścinające na powierzchni styku [kPa]
AS1	30,6	627,8
AS2	26,8	551,3
AS3	22,1	453,6
AS4	27,9	573,4
AS5	26,9	552,8
AS6	24,1	494,3
AS7	24,3	498,8
AS8	29,3	602,5
AS9	23,8	488,2
AS10	28,9	593,6
AS11	25,6	525,6
AS12	24,0	492,7
AS13	27,3	561,2
AS14	25,6	526,5
AS15	19,4	399,5
AS16	17,5	359,0
AS17	18,8	385,6
AS18	26,6	547,4
Średnia	25,0	513,0
Mediana	25,6	526,0
s	3,65	75,22
Współczynnik zmienności		14,66%



Rys. 2. Histogram i gęstość rozkładu dla wyników badań

łość X_L jest zwykle definiowana jako dolny fraktyl 5% mierzonej wytrzymałości zestawu próbek, obliczony z prawdopodobieństwem 90%, z uwzględnieniem wpływu rozmiaru próbki. Statystyczne kryterium jest oceniane przy użyciu równania:

$$X_L = X_{AV} - ks$$

gdzie:

X_{AV} – średnia wytrzymałość;
 s – standardowe odchylenie;
 k – jednostronny limit tolerancji dla rozkładu normalnego.

W przypadku dolnego fraktylu 5%, poziomu ufności 90% i 18 próbek, k wynosi 2,249 [7].

W wyniku badań stwierdzono, że nominalna wytrzymałość na ścinanie na powierzchni styku zaprawy i ABK wynosiła 345 kPa. Oznacza to, że przyjęta przez MSJC i obowiązująca obecnie wartość nominalnej wytrzymałości na ścinanie pomiędzy zaprawą a ABK można w bezpieczny sposób zwiększyć z 255 kPa do 345 kPa.

Uwaga: W polskim tłumaczeniu w stosunku do angielskiego oryginału przeliczono i zmieniono jednostki miar na system metryczny.

Streszczenie

Postanowienia dotyczące projektowania konstrukcji murowych z autoklawizowanego betonu komórkowego zawarte w wydanej w 2008 r. Normie Komitetu Wspólnego ds. Norm Murowych (Masonry Standards Joint Committee – MSJC) wymagają, aby wytrzymałość na ścinanie między zaprawą a ABK była określana przy przyjęciu relatywnie niskiej – jak wykazują wyniki testu – nominalnej wytrzymałości na ścinanie wynoszącej 255 kPa. W artykule opisano badania, których celem była weryfikacja i doprecyzowanie wartości nominalnej wytrzymałości na ścinanie przez wrywanie rdzeni z zaprawy w elementach murowanych z ABK. Wyniki tych badań pozwalają stwierdzić, że obecna wartość nominalnej wytrzymałości na ścinanie między zaprawą a ABK w normie MSJC wydaje się być w nieuzasadniony sposób zachowawcza i można ją zwiększyć do 345 kPa.

Słowa kluczowe: autoklawizowany beton komórkowy; projekt; zaprawa; wytrzymałość na ścinanie.

Abstract

The AAC masonry design provisions of the 2008 edition of the Masonry Standards Joint Committee (MSJC) Code require that interface shear transfer between grout and

AAC be checked against a relatively low nominal capacity of 255 kPa, based on limited test results. This paper describes a testing program intended to verify and refine this nominal capacity, using pullout tests of grout cores in AAC masonry units. Based on the results of those tests, the current MSJC Code value for nominal interface shear capacity between grout and AAC is shown to be unduly conservative, and an increase to 345 kPa is recommended.

Literatura

- [1] ASTM C143-08: Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2008.
- [2] ASTM C476-09: Standard Specification for Grout for Masonry, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2009.
- [3] ASTM A615-09: Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2009.
- [4] ASTM C1019-09: Standard Test Method for Sampling and Testing Grout, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2009.
- [5] MSJC 2008a. Masonry Standards Joint Committee, Building Code Requirements for Masonry Structures (TMS 402-08 / ACI 530-08 / ASCE 5-08), The Masonry Society, Boulder, Colorado, the American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, and the American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.
- [6] MSJC 2008b. Masonry Standards Joint Committee, Specification for Masonry Structures (TMS 602-08 / ACI 530.1-08 / ASCE 6-08), The Masonry Society, Boulder, Colorado, the American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, and the American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.
- [7] Natrella M. G., 1963. Experimental Statistics, National Bureau of Standards (NBS) Handbook 91, U. S. Department of Commerce, Washington, DC.
- [8] Tanner J. E., 2003. Design Provisions for Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Structural Systems, PhD Dissertation, Department of Civil Engineering, the University of Texas at Austin.

**Informacje na temat ABK oraz V Międzynarodowej Konferencji
 pt. „Autoklawizowany Beton Komórkowy”
 na stronie www.stow-bet.com.pl**