

dr hab. inż. Łukasz Drobiec^{1)*}
dr inż. Radosław Jasiński¹⁾

Wpływ rodzaju zbrojenia na parametry mechaniczne ściskanego muru z betonu komórkowego

Influence of the kind of reinforcement on mechanical parameters of compressed AAC masonry

DOI: 10.15199/33.2015.12.18

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu zbrojenia na wytrzymałość na ściskanie oraz moduł sprężystości muru z bloczków z betonu komórkowego. Badaniu poddano mury wzniesione na cienkiej spoinie z wypełnionymi oraz niewypełnionymi spoinami czołowymi, w których zastosowano trzy typy zbrojenia. Łącznie przebadano 12 modeli niezbrojonych i 18 modeli ze zbrojeniem, zgodnie z wytycznymi PN-EN 1052-1. Wykazano, że zastosowanie zbrojenia istotnie wpływa na wytrzymałość i odkształcalność muru.
Słowa kluczowe: zbrojenie spoin wspornych, wytrzymałość muru na ściskanie, odkształcalność muru.

Abstract. In the article research of the influence of bad joint reinforcement on the AAC masonry compressive strength and a modulus of elasticity were described. The tests of masonry samples with 3 types of reinforcement were made. Including 18 reinforced models and 12 unreinforced models were tested according to guidelines of the PN-EN 1052-1 code. The investigations showed that the reinforcement influenced on the compressive strength and deformability of wall.

Keywords: bad joint reinforcement, masonry compressive strength, deformability of wall.

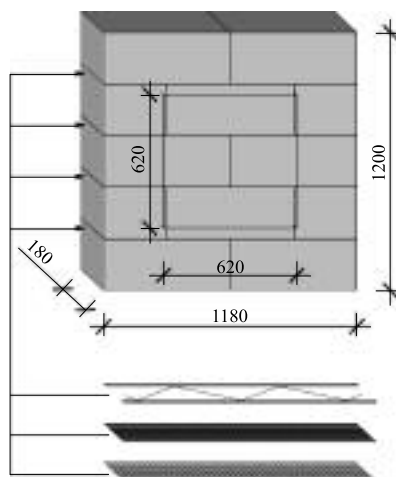
W Polsce w ostatnich latach wznosi się coraz więcej murów zbrojonych i dotyczy to nie tylko ścian ze zwykłymi spoinami (grubości 8 – 15 mm), w przypadku których w kraju mamy bogate doświadczenia, ale również murów ze spoinami cienkimi (grubości 0,5 – 3,0 mm). W Eurokodzie 6 [1] trudno znaleźć wytyczne dotyczące zasad zbrojenia murów wykonanych na cienkich spoinach, choć tego typu rozwiązania znane są w Europie Zachodniej od ponad 20 lat. Zalecenia producentów zbrojenia często oscylują na granicy wymagań konstrukcyjnych zamieszczonych w EC-6, a w przypadku grubości zbrojonych spoin wspornych są z normą sprzeczne [2]. W literaturze informacje o wpływie zbrojenia oraz wypełnienia spoin czołowych na parametry mechaniczne muru zbrojonego są zdawkowe [3, 4] i nie pozwalają na sformułowanie wniosków praktycznych dotyczących wytrzymałości i odkształcalności (moduł sprężystości, moduł ścinania, współczynnik odkształcalności poprzecznej) muru zbrojonego. W związku z tym w Politechnice Śląskiej przeprowadzono wiele badań porównawczych ścian ściskanych i ścinanych z niewypełnionymi i wypełnionymi spoinami pionowymi oraz z różnymi typami zbrojenia. W artykule zamieszczono wyniki badań na ściskanie murów zbrojonych i nie-

zbrojonych, wykonanych z bloczków z betonu komórkowego SOLBET OPTIMAL o wymiarach 590 x 180 x 240 mm z zamkami do murowania na pióro i wpust.

Modele i procedura badań

Wytrzymałość muru na ściskanie zbadano zgodnie z PN-EN 1052-1:2000 [5]. Modele badawcze – mury (rysunek 1, fotografia 1) wznoszono na projektowanej zaprawie Solbet przeznaczonej do spoin cienkich klasy M5. Wykonano elementy jako niezbrojone i zbrojone, z wypełnionymi i niewypełnionymi spoinami pionowymi. Zastosowano trzy typy zbrojenia (fotografia 2), które układano w spoinach wspornych. Pierwszym

z nich było stalowe ocynkowane zbrojenie typu kratowniczka, wykonane z płaskowników 1,8 x 14 mm i krzyżulców ϕ 1,8 mm. Drugim typem zbrojenia były siatki z włókien szklanych powleczone tworzywem sztucznym. W kierunku długości muru układano włókna wątku, natomiast w kierunku grubości osnowy. Wątek składał się z dwóch splotów, a kształt przekroju poprzecznego każdego z nich był zbliżony do koła średnicy 0,3 mm i miał powierzchnię 0,141 mm². Osnowa składała się z pojedynczego splotu o przekroju poprzecznym zbliżonym do prostokąta o wymiarach 1,5 x 0,22 mm i powierzchni 0,33 mm². Oczko siatki miało ok. 5 x 5 mm. Trzecim typem zbrojenia były siatki bazaltowe i podobnie jak tworzywowe składały się z wątku i osnowy. Wątek



Rys. 1. Podstawowe wymiary modeli oraz układu pomiarowego

Fig. 1. Basic dimensions of models and of the measuring agreement



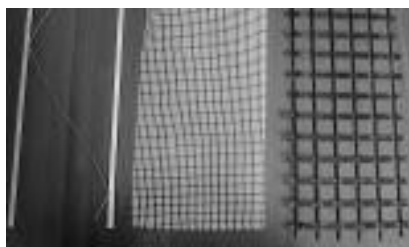
Fot. 1. Widok przykładowego modelu z bazą pomiarową umieszczonego w maszynie wytrzymałościowej

Photo 1. View of the model with the measuring base put in the test machine

¹⁾ Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

^{*)} Autor do korespondencji:

e-mail: lukasz.drobiec@polsl.pl



Fot. 2. Widok zbrojenia zastosowanego w badaniach, od lewej: zbrojenie typu kratownicza, siatka z tworzywa, siatka bazaltowa
Photo 2. View of the reinforcement used in the tests, from the left: truss type reinforcement, synthetic mesh, basaltic mesh

wykonano z ośmiu sprasowanych włókien o powierzchni przekroju poprzecznego ok. 4 mm². Osnowa składała się z czterech włókien ułożonych równolegle. Oczko siatki miało ok. 30 x 30 mm.

W tabeli 1 zestawiono oznaczenia poszczególnych serii badawczych. Elementy próbne badano po min. 28 dniach od wymurowania. Ustawiano je centralnie między głowicami prasy hydraulicznej, bez zamierzonego mimośrod. Zapewniono pełny kontakt między górną i dolną powierzchnią elementów a powierzchniami głowic maszyny wytrzymałościowej. Podczas badań siłę ściskającą mierzono za pomocą siłomierza o dokładności 0,001 kN, a przemieszczenia pionowe i poziome przy użyciu czujników indukcyjnych o dokładności 0,002 mm. Model bazy do pomiarów przemieszczeń muru przygotowano zgodnie z zaleceniami PN-EN 1052-1:2000 [5] (rysunek 1, fotografia 1). Pomiar odkształceń pionowych posłużył do wyznaczenia zależności naprężenie pionowe σ_y – odkształcenie pionowe ϵ_y , natomiast pomiar odkształceń poziomych – do wyznaczenia współczynnika odkształcalności poprzecznej w muru.

Tabela 1. Zestawienie oznaczeń serii badawczych
Table 1. Markings of research series

Oznaczenie	Opis modeli	Liczba modeli w serii
S1N-i*	– mur ze spoinami cienkimi i niewypełnionymi spoinami czołowymi (pionowymi)	6
S2N-i*	– mur ze spoinami cienkimi i wypełnionymi spoinami czołowymi (pionowymi)	6
S1Zk-i*	– mur ze spoinami cienkimi, niewypełnionymi spoinami czołowymi (pionowymi) i zbrojeniem typu kratownicza w każdej spoinie wspornej	3
S2Zk-i*	– mur ze spoinami cienkimi, wypełnionymi spoinami czołowymi (pionowymi) i zbrojeniem typu kratownicza w każdej spoinie wspornej	3
S1ZSt-i*	– mur ze spoinami cienkimi, niewypełnionymi spoinami czołowymi (pionowymi) i zbrojeniem z siatki z tworzywa sztucznego w każdej spoinie wspornej	3
S2ZSt-i*	– mur ze spoinami cienkimi, wypełnionymi spoinami czołowymi (pionowymi) i zbrojeniem z siatki z tworzywa sztucznego w każdej spoinie wspornej	3
S1ZSb-i*	– mur ze spoinami cienkimi, niewypełnionymi spoinami czołowymi (pionowymi) i zbrojeniem z siatki bazaltowej w każdej spoinie wspornej	3
S2ZSb-i*	– mur ze spoinami cienkimi, wypełnionymi spoinami czołowymi (pionowymi) i zbrojeniem z siatki bazaltowej w każdej spoinie wspornej	3

* – cyfra oznaczająca numer modelu w serii

Wyniki badań

Przeprowadzono komplet badań materiałów, których wyniki zamieszczono w pracy [6]. Określono wytrzymałość elementów murowych na ściskanie oraz zapraw na rozciąganie przy zginaniu i ściskanie. Na podstawie badań elementów sześciennych uzyskano klasę wytrzymałości 4, natomiast z badań całych elementów murowych oraz walców, do których stosowano normowy współczynnik kształtu δ (uwzględniający efekt skali) – klasę wytrzymałości 4,5. Wytrzymałość na zginanie zaprawy wyniosła 2,0 N/mm², a na ściskanie – 6,1 N/mm². Zarówno wytrzymałość elementów murowych, jak i zaprawy były zgodne z deklarowanymi przez producenta.

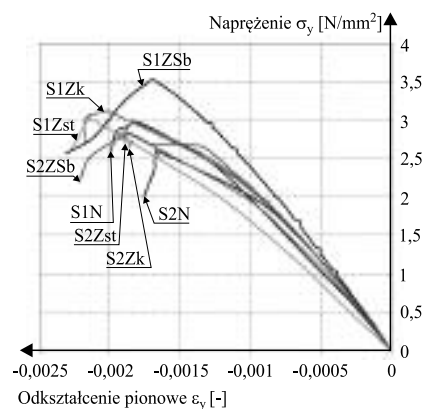
W przypadku modeli wartość normalnych naprężeń rysujących i niszczących określano, dzieląc siłę przez zmierzone pole przekroju poprzecznego elementu próbnego. Wartość modułu sprężystości i współczynnika odkształcalności poprzecznej wyznaczono przy naprężeniu równym 1/3 naprężenia maksymalnego. W tabeli 2 przedstawiono uśrednione parametry w ramach każdej z serii, natomiast wykresy uśrednionych zależności naprężenie σ_y – odkształcenie pionowe ϵ_y i poziome ϵ_x na rysunkach 2 i 3. Największą wytrzymałość na ściskanie wykazały mury zbrojone kratowniczką i siatką bazaltową. Warto zwrócić uwagę, że wytrzymałość zbrojonych i niezbrojonych murów ze spoinami cienkimi, z niewypełnionymi spoinami pionowymi była większa niż podobnych murów z wypełnionymi spoinami pionowymi. Zbrojenie kratowniczką spowodowało zwiększenie wytrzymałości o 5%

Tabela 2. Uśrednione w ramach serii wyniki badań wytrzymałości na ściskanie

Table 2. Results of masonry compressive strength tests averaged from each series

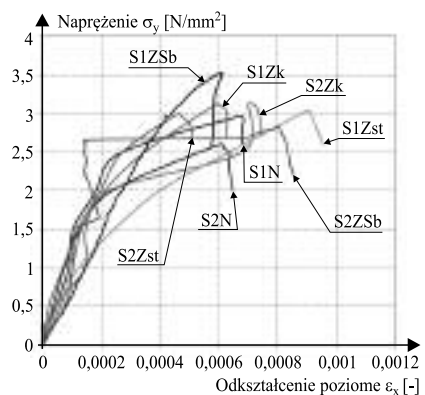
Modele/ Numer serii	Naprężenie		Moduł sprężystości [N/mm ²]	Współczynnik odkształcalności poprzecznej	
	rysujące [N/mm ²]	maksymalne [N/mm ²]			
Nie-zbrojone	S1N	2,35	2,97	2040	0,18
	S2N	2,08	2,61	2447	0,18
Zbrojone	S1Zk	2,85	3,12	2363	0,26
	S1ZSt	2,59	3,03	1753	0,22
	S1ZSb	2,98	3,52	2484	0,33
	S2Zk	2,48	2,84	2213	0,21
	S2ZSt	2,65	2,99	2401	0,17
	S2ZSb	2,51	2,83	2358	0,25

w przypadku muru z niewypełnionymi spoinami i o 9% – ze spoinami wypełnionymi. Zastosowanie zbrojenia z siatki tworzywowej przyczyniło się do wzrostu wytrzymałości muru z niewypełnionymi spoinami o 2% i o 15% – ze spoinami wypełnionymi



Rys. 2. Wykres uśrednionych w ramach serii zależności naprężenie σ_y – odkształcenie pionowe ϵ_y

Fig. 2. Graph averaged relation compressive strength σ_y – vertical deformation ϵ_y



Rys. 3. Wykres uśrednionych w ramach serii zależności naprężenie σ_y – odkształcenie poziome ϵ_x

Fig. 3. Graph averaged relation compressive strength σ_y – horizontal deformation ϵ_x

mi, a zbrojenie siatką bazaltową do wzrostu nośności o ok. 19% w murach z niewypełnionymi spoinami i o 8% – ze spoinami wypełnionymi.

Zbrojenie spowodowało zmianę modułu sprężystości muru oraz współczynnika odkształcalności poprzecznej (Poissona). W wypadku murów z niewypełnionymi spoinami pionowymi moduł sprężystości w modelach zbrojonych siatką z tworzywa zmniejszył się średnio o 15%, natomiast w modelach zbrojonych kratowniczką i siatką bazaltową zwiększył odpowiednio o 16 i 25%. W przypadku modeli z wypełnionymi spoinami czołowymi zanotowano spadek modułu sprężystości o $2 \div 10\%$. Współczynnik odkształcalności poprzecznej wzrósł w większości modeli (średnio o $16 \div 83\%$). Jedynie w przypadku zbrojenia siatką z tworzywa i niewypełnionych spoin pionowych zanotowano jego nieznaczny spadek.

Mury zbrojone kratowniczką z wypełnionymi i niewypełnionymi spoinami wykazały więcej uszkodzeń na powierzchniach bocznych (wzdłuż grubości muru) i dużo odspojeń na płaszczyznach licowych (fotografia 3). Niektóre rysy na powierzchniach bocznych przechodziły przez strefę oparcia prętów zbrojenia na murze. Natomiast modele zbrojone siatkami miały więcej zarysowań na powierzchniach licowych i rzadko wykazywały zarysowania na płaszczyznach bocznych (fotografie 4 i 5). Zastosowanie zbrojenia opóźniło pojawienie się pierwszej rysy o $10 \div 27\%$ w modelach z niewypełnionymi spoinami pionowymi oraz o $19 \div 27\%$ w modelach z wypełnionymi spoinami czołowymi.



Fot. 3. Przykład zarysowania muru zbrojonego kratowniczką

Photo 3. Example of cracks of masonry reinforcement of lattice

Wnioski

Przeprowadzone badania pozwalają na stwierdzenie, że:

- największą wytrzymałość na ściskanie wykazały mury zbrojone z niewypełnionymi spoinami pionowymi;
- najefektywniejsze jest zbrojenie siatką bazaltową;



Fot. 4. Szczegóły zarysowania – mur zbrojony siatką z tworzywa sztucznego

Photo 4. Details of cracks – masonry reinforcement of plastic mesh



Fot. 5. Szczegóły zarysowania – mur zbrojony siatką bazaltową

Photo 5. Details of cracks – masonry reinforcement of basalt mesh

- zbrojenie z siatki tworzywowej o 2% zwiększa wytrzymałość muru z niewypełnionymi spoinami i o 15% – ze spoinami wypełnionymi;

- zbrojenie siatką bazaltową o ok. 19% zwiększa nośność muru z niewypełnionymi spoinami i o 8% – ze spoinami wypełnionymi;

- w murach zbrojonych kratowniczką występuje nieco inny sposób zniszczenia niż w murach niezbrojonych oraz zbrojonych siatkami. Mury z kratowniczką wykazały więcej zarysowań wzdłuż grubości modelu i część z nich występowała w okolicy zbrojenia;

- rysy w murach zbrojonych pojawiły się później niż w murach niezbrojonych; w modelach z niewypełnionymi spoinami później o $10 \div 27\%$, natomiast ze spoinami wypełnionymi – o $19 \div 27\%$;

- w wypadku murów z niewypełnionymi spoinami pionowymi moduł sprężystości w modelach zbrojonych siatką z tworzywa spadł średnio o 15%, natomiast w modelach zbrojonych kratowniczką i siatką bazaltową wzrósł odpowiednio o 16 i 25%. W modelach z wypełnionymi spoinami czołowymi zanotowano spadek modułu sprężystości o $2 \div 10\%$;

- współczynnik odkształcalności poprzecznej muru wzrósł w większości modeli (średnio o $16 \div 83\%$); jedynie w modelach zbrojonych siatką z tworzywa z niewypełnionymi spoinami pionowymi zanotowano jego nieznaczny spadek.

Autorzy badań wyrażają szczególne podziękowania firmie Solbet Sp. z o.o. za podjęcie współpracy z Katedrą Konstrukcji Budowlanych oraz merytoryczną i materialną pomoc przy realizacji badań konstrukcji murowych.

Fotografie – Ł. Drobiec

Literatura

[1] PN-EN 1996-1-1+A1:2013-05/NA:2014-03: Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.

[2] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A.: Konstrukcje murowe według Eurokodu 6 i norm związanych. Tom 1. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.

[3] Drobiec Ł.: Przeciwdziałanie zarysowaniu ścisłych murów zbrojeniem spoin wspornych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, seria Monografie nr 452, Gliwice 2013.

[4] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A.: Konstrukcje murowe według Eurokodu 6 i norm związanych. Tom 3. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2016. (w druku).

[5] PN-EN 1052-1:2000: Metody badań murów. Określenie wytrzymałości na ściskanie.

[6] Drobiec Ł., Jasiński R.: Wpływ rodzaju zaprawy na parametry mechaniczne murów z ABK podanych ściskaniu. Materiały Budowlane, nr 4/2015, s. 3 – 7. DOI: 10.15199/33.2015.04.02.

Przyjęto do druku: 15.10.2015 r.