dr hab. inż. Łukasz Drobiec, prof. PŚl[1)]

Badania ścian z ABK w skali naturalnej poddanych ściskaniu – analiza strefy wokół okna. Część 2

Tests of natural scale AAC walls subjected to compression – analysis of the zone around the window. Part 2

DOI: 10.15199/33.2018.10.37

Streszczenie. W artykule zamieszczono rezultaty badań ścian z Autoklawizowanego Betonu Komórkowego (ABK) w skali naturalnej. Ściany wzniesiono z bloczków o grubości 18 cm na cienkie spoiny. Badano ściany zbrojone i niezbrojone. Jako zbrojenie zastosowano siatki bazaltowe oraz typowe zbrojenie stalowe w postaci kratowniczki. Ściany poddano obciążeniom ściskającym, które przykładano przez żelbetową belkę imitującą wieniec. Analizowano wpływ otworu na zachowanie się zbrojonych i niezbrojonych ścian. Wykazano, że zbrojenie ma istotny wpływ na nośność ścian. W drugiej części artykułu opisano uzyskane wyniki badań.

Słowa kluczowe: mur z ABK; badania na ściskanie; wpływ otworu; badania w skali naturalnej.

Abstract. The paper describes the results of testing Autoclaved Aerated Concrete (AAC) walls on a natural scale. The walls were made of 18 cm wide blocks and thin layer joints. Reinforced and non-reinforced walls were tested. Basalt grids and typical steel reinforcement (truss type) were used as reinforcements. The walls were subjected to compressive loads.The load was applied by a reinforced concrete rim beam. The impact of the opening (window) on stress distribution and the load capacity of the wall was analysed. It was shown that reinforcement has a significant impact on the load-bearing capacity of the walls. The second part of the article describes the obtained test results.

Keywords: AAC masonry; compression tests; influence of openings; tests on a natural scale.

Zastosowanie zbrojenia może powodować wzrost nośności i rysoodporności ściany o 10 – 20% [1, 2, 3]. Zbrojenie takie powinno być jednak bardziej efektowne w strefach koncentracji naprężeń, takich jak połączenia ścian prostopadłych [3, 4, 5] lub strefa wokół okna [5, 6, 7, 8]. W literaturze trudno jest jednak znaleźć wyniki badań dotyczące wpływu zbrojenia na parametry muru w strefach koncentracji naprężeń. W artykule zamieszczono wyniki badań ścian w skali naturalnej. Analizowano wpływ zbrojenia na zachowanie się strefy wokół okna. Opis modeli i stanowiska badawczego zamieszczono w artykule [9].

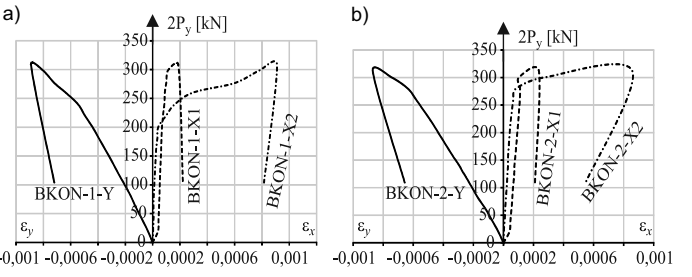
Wyniki badań

W tabeli 1 podano siły niszczące i rysujące modele, a na rysunkach 1 ÷ 3 podano zależność siła – odkształcenie, mierzone na ramkach pomiarowych usytuowanych przy otworze okiennym (4 ramki w każdym modelu – zobacz rysunek 2 w [9]). Wartości odkształceń pionowych przyjęto na podstawie wskazań czterech czujników usytuowanych bezpośrednio przy otworze okiennym. Oddzielnie analizowano wartości odkształceń poziomych z czujników zabudowanych wyżej oraz niżej.

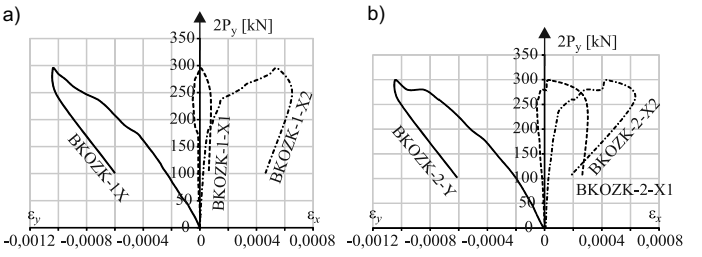
Tabela 1. Wyniki badań murów pod obciążeniem skupionym
Table 1. Results of wall tests under concentrated load

Nazwa serii	Siła rysująca [kN]	Siła niszcząca [kN]
BKON-1	90	308,5
BKON-2	85	311,7
BKOZK-1	110	293,9
BKOZK-2	115	299,7
BKOZSB-1	130	326,1
BKOZSB-2	130	327,4

W badaniach modeli niezbrojonych i zbrojonych widać podobny przebieg zależności P_y – ε. Wykres siła – odkształcenie pionowe jest prawie prostoliniowy, aż do momentu zniszczenia. Przemieszczenia poziome, a co za tym idzie poziome odkształcenia, rejestrowane na niższych czujnikach są znacznie większe w porównaniu z odkształceniami na wyższych poziomach modelu. Związane to jest z faktem, że na dolnym poziomie na bazę pomiarową oddziałują już

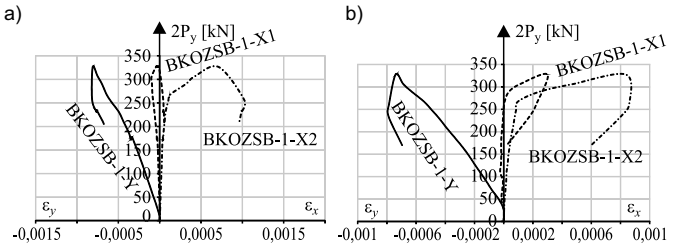


Rys. 1. Zależność siła – odkształcenie uzyskana z badań modeli niezbrojonych: a) BKON-1; b) BKON-2
Fig. 1. Force-deformation curves from testing unreinforced models: a) BKON-1, b) BKON-2



Rys. 2. Zależność siła – odkształcenie uzyskana z badań modeli zbrojonych kratowniczką: a) BKOZK-1; b) BKOZK-2
Fig. 2. Force-deformation curves from testing models reinforced with truss: a) BKOZK-1; b) BKOZK-2

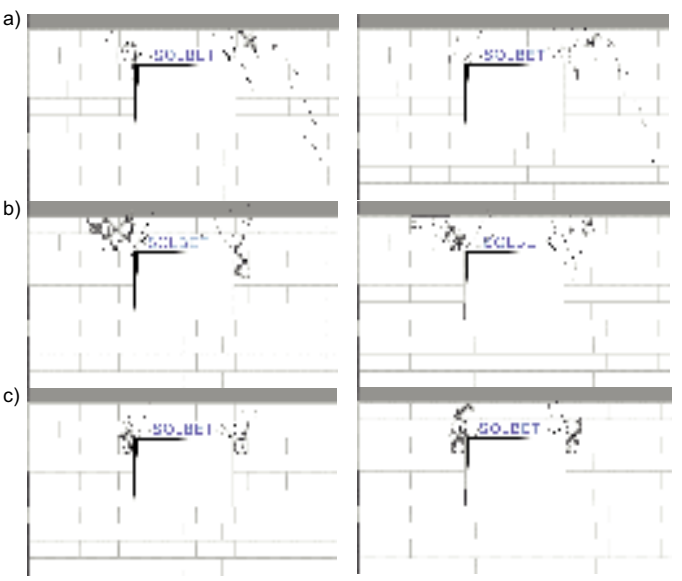
[1)] Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa; lukasz.drobiec@polsl.pl



Rys. 3. Zależność siła – odkształcenie uzyskana z badań modeli zbrojonych siatką bazaltową: a) BKOZSB-1; b) BKOZSB-2
Fig. 3. Force-deformation curves from testing models reinforced with basalt mesh: a) BKOZSB-1, b) BKOZSB-2

siły z obu punktów przyłożenia obciążenia. Należy podkreślić, że w elementach zbrojonych na górnej bazie początkowo rejestrowane są skrócenia (ujemny znak odkształceń), a wydłużenia występują dopiero przed samym zniszczeniem, po zarysowaniu strefy bazy pomiarowej. Świadczy to o wpływie zbrojenia w tym obszarze modelu.

W modelach niezbrojonych pierwsza rysa wystąpiła w nadprożu (przy obciążeniu z jednej ramy ok. 90 kN), natomiast **w modelach zbrojonych** pierwszą rysę zaobserwowano w warstwie elementów murowych ponad nadprożem (przy obciążeniu z jednej ramy ok. 110 kN). Następnie w murach zbrojonych pojawiała się rysa w nadprożu (obciążenie z jednej ramy ok. 130 kN). Podczas dalszego obciążania rysy propagowały i pojawiały się kolejne zarysowania najczęściej ukośne w nadprożu przy strefie oparcia oraz w elementach murowych pod strefą oparcia oraz nad nadprożem. W końcowej fazie badania dochodziło do rozłupania bloczków i odspojenia ich fragmentów licowych. Zjawisko to szczególnie silnie obserwowano w murach zbrojonych kratowniczką. W elementach niezbrojonych rysy z jednej strony modelu propagowały przez całą jego wysokość, natomiast w murach zbrojonych zarysowanie występowało głównie w okolicy strefy oparcia nadproża. Na rysunku 4 pokazano



Rys. 4. Zarysowanie modeli: a) BKON-1 i BKON-2; b) BKOZK-1 i BKOZK-2; c) BKOZSB-1 i BKOZSB-2
Fig. 4. Cracks in models: a) BKON-1 and BKON-2; b) BKOZK-1 and BKOZK-2; c) BKOZSB-1 and BKOZSB-2

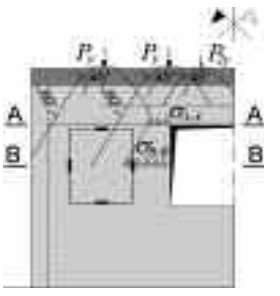
obraz zarysowania modeli. Obszary zakreskowane oznaczają strefę odspojenia się warstwy licowej elementów murowych. Analizę zarysowań prowadzono za pomocą bezdotykowego systemu optycznego.

Analiza wyników badań

Zbrojenie w postaci siatek bazaltowych spowodowało nieznaczne zwiększenie nośności ścian i istotny wzrost ich odporności na zarysowanie. Średnia siła niszcząca w modelach zbrojonych tymi siatkami było ok. 5% większa od średniej siły niszczącej modeli niezbrojonych. Natomiast siła rysująca modeli zbrojonych siatkami bazaltowymi w strefie oparcia nadproża była o przeszło 49% większa od siły rysującej w modelach niezbrojonych.

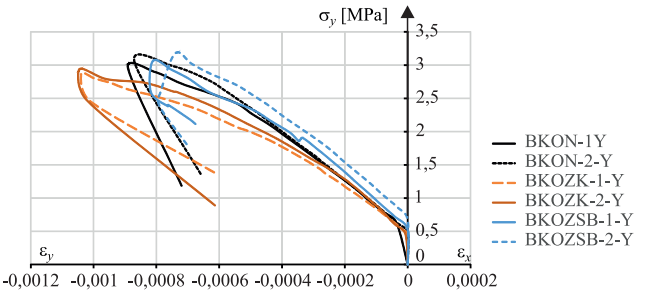
Zbrojenie typu kratowniczka było mniej efektywne. Nie miało ono w zasadzie wpływu na nośność modelu (a nawet nastąpił nieznaczny, 4% spadek), ale spowodowało zwiększenie siły rysującej o ok. 28,5% w porównaniu z modelm niezbrojonym.

Siły rysujące i niszczące nie określają dokładnie zachowania się muru pod obciążeniem. Istotny jest poziom naprężeń w strefie występowania uszkodzeń. Określono średnie naprężenie w strefie podparcia nadproża (w poziomie σ_{A-A} na rysunku 5) oraz w połowie wysokości ramki pomiarowej, zabudowanej przy otworze okiennym (w poziomie σ_{B-B} na rysunku 5). Naprężenia wyznaczano na odległości równej szerokości rozdziału reakcji z nadproża.

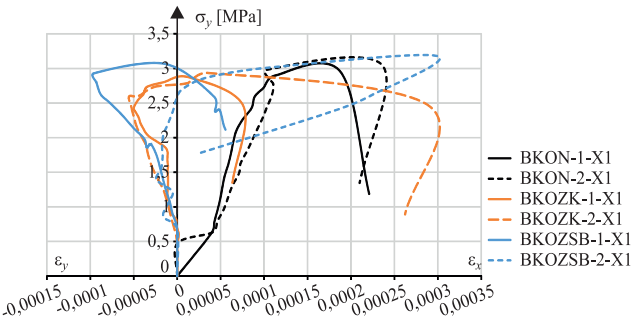


Rys. 5. Sposób rozkładu obciążeń oraz przekroje, gdzie określano naprężenia
Fig. 5. Distribution of loads and sections, for which stress was determined

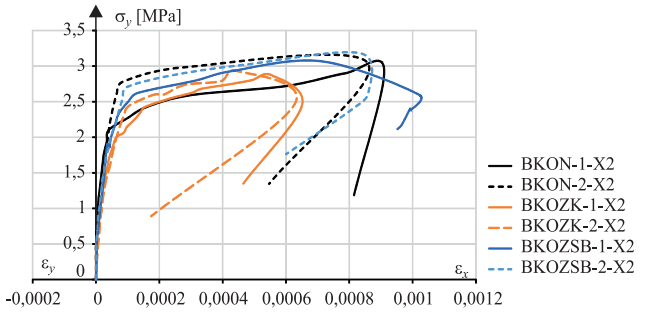
Na rysunku 6 pokazano wykres zależności naprężeń pionowych σ_y od odkształcenia pionowego wyznaczonego na podstawie przemieszczeń modelu odczytanych z czujników zabudowanych na ramce przy otworze okiennym. Na rysunku 7 widać zależność naprężeń pionowych σ_y od odkształcenia poziomego wyznaczonego na podstawie przemieszczeń modelu odczytanych z górnych czujników zabudowanych na ramce przy otworze okiennym, a na rysunuk 8 zależność naprężeń pionowych σ_y od odkształcenia poziomego, lecz wyznaczonego na dolnych czujnikach ramki pomiarowej. Z rysunków wynika wyraźna różnica między odkształceniami modeli niezbrojo-



Rys. 6. Zależność σ_y-ε_y modeli ścian z otworem
Fig. 6. σ_y-ε_y relationship for wall models with an opening



Rys. 7. Zależność σ_y-ε_{x1} modeli ścian z otworem (górne czujniki)
Fig. 7. σ_y-ε_y relationship for wall models with an opening (upper sensors)



Rys. 8. Zależność σ_y-ε_{x2} modeli ścian z otworem (dolne czujniki)
Fig. 8. σ_y-ε_y relationship for wall models with an opening (bottom sensors)

nych i zbrojonych. W kierunku pionowym modele zbrojone kratowniczką odkształcają się bardziej w porównaniu z modelami bez zbrojenia, natomiast modele zbrojone siatką bazaltową mają odkształcenia mniejsze (rysunek 6). W wypadku odkształceń poziomych modele zachowują się w sposób zróżnicowany na dwóch badanych poziomach (górnym i dolnym). Na poziomie górnym modele niezbrojone wykazują wzrost odkształceń, a modele ze zbrojeniem cechują się skróceniem (ograniczeniem) odkształceń przez znaczną część obciążenia. Świadczy to o ograniczeniu odkształceń przez zbrojenie w tym poziomie modelu. W wypadku poziomu dolnego wszystkie modele wykazują równomierny przyrost odkształceń. Największe odkształcenia wykazują modele bez zbrojenia oraz zbrojone siatką bazaltową, natomiast najmniejsze modele ze zbrojeniem w postaci kratowniczek.

Siły niszczące i rysujące oraz obliczone w przekrojach A-A i B-B (rysunek 5) **naprężenia** zestawiono w tabeli 2. Obliczając naprężenia w założonych przekrojach, uwzględniono reakcję z nadproża przyłożoną w połowie długości jego oparcia, ciężar własny muru i ciężar elementów żelbetowych oraz ciężar stalowych elementów stanowiących osprzęt badawczy. Z tego powodu siły rysujące i niszczące pokazane w dwóch pierwszych kolumnach tabeli 2 różnią się nieco od wartości pokazanych w tabeli 1, w której nie uwzględniono ciężaru własnego muru, wieńca i stalowego osprzętu.

Tabela 2. Wyniki badań i obliczeń ścian obciążonych siłą skupioną
Table 2. Results of tests and calculations of walls loaded with concentrated force

Modele		Średnia siła rysująca* [kN]	Średnia siła niszcząca* [kN]	Maksymalna reakcja z nadproża R_n [kN]	Naprężenie w poziomie oparcia nadproża σ_{A-A} [MPa]		Naprężenie w połowie wysokości ściany σ_{B-B} [MPa]	
					zarysowanie	zniszczenie	zarysowanie	zniszczenie
Bez zbrojenia	BKON-1	93,4	311,9	132,9	1,12	2,95	2,00	1,40
	BKON-2	88,4	315,1	137,1	1,14	3,05	1,94	1,44
	BKOZK-1	113,4	297,3	129,2	1,33	2,87	2,42	1,36
Zbrojone	BKOZK-2	118,4	302,6	132,1	1,39	2,94	2,53	1,39
	BKOZSB-1	133,4	329,5	143,4	1,54	3,19	2,83	1,51
	BKOZSB -2	133,4	330,8	144,2	1,55	3,20	2,84	1,52

* siła z trawersu przyjmowana jako średnie obciążenie z siłownika mocowanego do ramy, zwiększona o ciężar trawersu, stalowych podkładek i siłomierza oraz ciężar połowy wieńca

Podsumowanie

W artykule przedstawiono pierwszy etap badań ścian w skali naturalnej. Analizowano strefę wokół otworu okiennego. Wykazano, że zastosowanie zbrojenia w murze wpływa na poziom naprężeń rysujących. Z zastosowaniem zbrojenia typu kratowniczka uzyskano siłę rysującą o 28% większą od siły rysującej w modelach niezbrojonych. Zastosowanie siatki bazaltowej spowodowało zwiększenie siły rysującej o 49%.

Literatura

[1] Drobiec Łukasz. 2004. *Analiza murów z cegły pełnej ze zbrojeniem w spoinach wspornych poddanych obciążeniom pionowym*. Praca doktorska. Gliwice.

[2] Drobiec Łukasz, Jan Kubica. 2002. „Influence of Some Types of Bed Joint Reinforcement on Mechanical Properties of Masonry Under Compression". *Proceedings of the British Masonry Society*, no. 9: 99 – 104.

[3] Drobiec Łukasz. 2004. *Przeciwdziałanie zarysowaniu ściskanych murów zbrojenia spoin wspornych*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, seria monografie nr 452. Gliwice.

[4] Schubert Peter. 2004. Mauerwerk. Risse vermeiden und instandsetzen. Fraunhofer IRB Verlag.

[5] Bruckner Helmut. 2002. *Gewerk Mauerwerksbau. Richtig ausführen – Feler vermeiden*. Fraunhofer IRB Verlag.

[6] Drobiec Łukasz. 2017. Limitation of cracking in AAC masonry under the window zone/Begrenzung von Rissbildung in Porenbetonmauerwerk im Brüstungsbereich. Mauerwerk 21. H. 5: 332 – 342.

[7] Drobiec Łukasz. 2016. „Wpływ zbrojenia na zarysowanie strefy podokiennej muru z betonu komórkowego. *Materiały Budowlane* 528 (8): 122 – 125. DOI: 10.15199/33.2016.08.38.

[8] Drobiec Łukasz. 2017. „Analiza naprężeń i odkształceń w strefie podokiennej muru. Badania modeli ścian". *Materiały Budowlane* 536 (4): 7 – 8. DOI: 10.15199/30.2017.04.02.

[9] Drobiec Łukasz. 2018. „Badania ścian z ABK w skali naturalnej poddanych ściskaniu – analiza strefy wokół okna. Cz. 1.". *Materiały Budowlane* 553 (9): 75 – 77. DOI: 10.15199/33.2018.09.20.

Podziękowanie
Serdecznie dziękuję firmom Solbet Sp. z o.o., Nova Sp. z o.o. oraz Astra Benedykt Karczewski za przekazanie materiałów do badań.

Przyjęto do druku: 03.09.2018 r.

Partner działu: Stowarzyszenie Producentów Betonów