

prof. dr hab. inż. Łukasz Drobiec¹⁾

Efektywność stosowania zbrojenia spoin wspornych w ściskanych murach z ABK

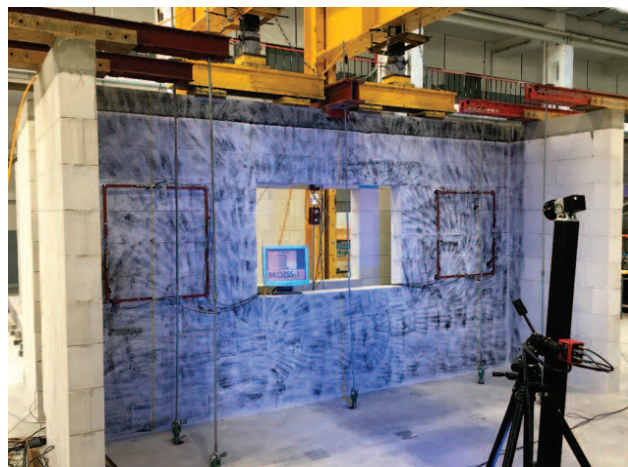
Ze względu na dużą smukłość i małą odkształcalność współczesne ściany są szczególnie narażone na powstanie zarysowań w miejscach koncentracji naprężeń [1 ÷ 4], takich jak strefa podokienna [5 ÷ 7], strefa połączenia ścian prostokątnych [8, 9], czy strefy muru pod obciążeniem skupionym [10]. Istotnego znaczenia nabiera więc problem odpowiedniego zabezpieczenia ścian przed powstaniem tych uszkodzeń [4, 5, 11] za pomocą np. zbrojenia stosowanego w spoinach wspornych muru. Normy dotyczące projektowania nie podają jednak szczegółowych zaleceń, jak kształtować zbrojenie w ścianach. W większości z nich podano warunki w przypadku minimalnej ilości zbrojenia oraz zasady jego sytuowania w spoinach wspornych. W dawnych normach znajdowały się wzory pozwalające obliczyć potrzebną ilość zbrojenia, ale nie ujęto ich w obecnie obowiązujących przepisach, co wynika ze zbyt małej liczby badań prowadzonych w kraju i za granicą. W literaturze można znaleźć wytyczne stosowania zbrojenia [4, 5, 12, 13], lecz i tu nie podano, kiedy należy je stosować.

Na Politechnice Śląskiej w Gliwicach przeprowadzono badania sześciu zbrojonych ścian ściskanych w skali naturalnej i dwóch podobnych ścian bez zbrojenia.

Modele badawcze

Modele wykonano z bloczków z betonu komórkowego (ABK) o grubości 180 mm, na systemowej zaprawie cienkowarstwowej. Znormalizowana wytrzymałość bloczka wynosiła $f_b = 4,0 \text{ N/mm}^2$, wytrzymałość zaprawy na ściskanie $f_m = 6,1 \text{ N/mm}^2$, wytrzymałość muru na ściskanie $f_{\text{test}} = 2,97 \text{ N/mm}^2$, moduł sprężystości $E = 2040 \text{ N/mm}^2$, a współczynnik Poissona $\gamma = 0,18$. Przeprowadzono badania ścian z jednym otworem okiennym, do których przylegały na końcach fragmenty ścian prostokątnych o długości 1,22 m. Każdy model badawczy został zwieńczony wieńcem żelbetowym (fotografia 1). Długość modeli wynosiła 4,68 m, a wysokość 2,63 m (wraz z wieńcem żelbetowym). Modele ze zbrojeniem miały w każdej spoinie wspornej zbrojenie typu kratowniczką, w postaci siatki bazaltowej lub siatki stalowej dedykowanej do murów z ABK, którą rozwijano z rolki.

Modele obciążano za pomocą dwóch siłowników o zakresie 1000 kN, mocowanych do dwóch stalowych ram osadzonych w płycie wielkich sił w Laboratorium Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej, symetrycznie względem otworu okiennego modelu. Obciążenie z siłowników rozkładano na dwie siły skupione za pomocą stalowych belek trawersowanych w taki sposób, że jedna siła przypadała na strefę muru usytuowaną przy otworze, a druga położona była nad otworem. Do-



Fot. 1. Model w trakcie badania

datkowo modele obciążano za pomocą układu ciągnowego przez siłowniki tłokowe zamocowane od spodu stropu wielkich sił. W związku z tym, że siłowniki miały zakres 25 kN, na jedną parę przypadało obciążenie 50 kN zwiększone nieznacznie o ciężar stalowego trawersu. Podczas badań rejestrowano przemieszczenia na bazach pomiarowych oraz siły w siłomierzach zabudowanych pod ramami i na ciągnach. Rejestrację przemieszczeń wykonywano przy użyciu 34 transformatorowych przetworników przemieszczeń liniowych (LVDT) o dokładności 0,02 mm. Wykonano również bezdotkowy pomiar optyczny.

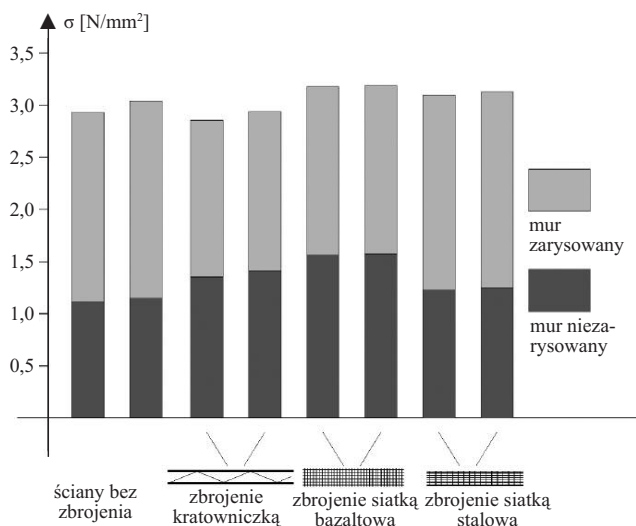
Wyniki badań

W przypadku I etapu badań (strefa wokół okna) zbrojenie nie wpłynęło istotnie na nośność modeli, lecz na ich rysoodporność. Na rysunku pokazano wartości naprężeń od momentu zarysowania do zniszczenia wszystkich badanych ścian. Na osi pionowej wykresu zaznaczono naprężenia ściskające, obliczone w poziomie oparcia nadproża, natomiast na poziomej rozmieszczono poszczególne elementy badawcze. Wykres naprężeń podzielono na strefę pracy muru przed zarysowaniem oraz po zarysowaniu.

Zastosowanie zbrojenia w postaci siatki stalowej pozytywnie wpływa na nośność muru oraz na wzrost naprężeń rysujących (odpowiednio o 10% i 4%). Zbrojenie typu kratowniczką nie wpływa na nośność muru (spadek o 3%), lecz na jego rysoodporność (wzrost o 20%). Zdecydowanie największy wpływ na poziom naprężeń rysujących i niszczących mają siatki bazaltowe (wzrost odpowiednio o ok. 37% i 7%).

W modelach niezbrojonych pierwsza rysa wystąpiła w nadprożu (przy obciążeniu odpowiadającym reakcji w nadprożu na średnim poziomie 53,5 kN), natomiast w modelach zbrojonych kratowniczką pierwszą rysę zaobserwowano w warstwie elementów mурowych ponad nadprożem (przy obciążeniu odpowiadającym reak-

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



Wartości naprężeń w poszczególnych modelach z podziałem na strefy niezarysowaną i zarysowaną

cji w nadprożu na średnim poziomie 61,4 kN). W modelach zbrojonych siatką stalową uzyskano podobną wartość sił rysujących – średnio 55,3 kN, natomiast w modelach zbrojonych siatką bazaltową rysy powstały przy reakcji z nadproża o wartości 68,4 kN. Podczas dalszego obciążania rysy postępowały i pojawiały się kolejne zarysowania najczęściej ukośne w nadprożu przy strefie oparcia oraz w elementach murowych pod strefą oparcia i nad nadprożem. W końcowej fazie badania dochodziło do rozłupania bloczków i odspojenia ich fragmentów licowych. Zjawisko to było szczególnie silne w murach zbrojonych kratowniczką.

W chwili zniszczenia zarysowania miały rozwarcie do 6 mm. W modelach niezbrojonych rysy przebiegały aż do dołu modelu, natomiast w modelach ze zbrojeniem koncentrowały się w nadprożu i w warstwie elementów murowych ponad nadprożem oraz w strefie oparcia nadproża. Na fotografii 2 pokazano zarysowanie modelu ze zbrojeniem w postaci siatki stalowej, rejestrowane za pomocą bezdotykowego systemu optycznego. Na osi pionowej przedstawiono odkształcenia modelu [%].



Fig. 2. Zarysowanie modelu zbrojonego siatką stalową rejestrowane za pomocą systemu optycznego

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań ścian stwierdzono, że:

- zastosowanie zbrojenia w obszarach koncentracji naprężeń daje znacznie lepsze wyniki niż jego użycie w murach obciążonych równomiernie;
- zbrojenie w mniejszym stopniu wpływa na nośność, a w większym na rysoodporność muru;
- wpływ zbrojenia na nośność w rejonie koncentracji naprężeń sięga 10%. W miejscach, gdzie o nośności muru decyduje wytrzymałość elementu murowego na ściskanie, zastosowanie zbrojenia może lokalnie nawet nieznacznie obniżyć nośność;
- zbrojenie może podnosić poziom naprężeń, przy których w murze pojawi się pierwsza rysa nawet o blisko 30%.

Literatura

- [1] Schubert P. Mauerwerk. Risse vermeiden und instandsetzen. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2004.
- [2] Schubert P. Vermeiden von schädlichen Rissen in Mauerwerkbauteilen. Mauerwerk-Kalender, Ernst & Sohn. 1996; 21: 621 – 651.
- [3] Vermeltoort AT, Martens DRW. Strains in masonry near the support of lintels – explorative research of a test set-up, Proceedings of the British Masonry Society, no. 9, Published by the Society Stoke-on-Trent. 2002: 531 – 535.
- [4] Muraier T. Edelstahl im zweischaligen Mauerwerk – Sicherheit im Hintergrund. Mauerwerk. 2006; 6: 230 – 234.
- [5] Seung-Hyeon H, Sanghee K, Keun-Hyeok Y. In-plane lateral load transfer capacity of unreinforced masonry walls considering presence of openings. Journal of Building Engineering. 2022; <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103868>.
- [6] Leal-Graciano JM, Quiñónez B, Rodríguez-Lozoya HE, Pérez-Gavilán JJ, Lizárraga-Pereda JF. Use of GFRP as retrofit alternative for confined masonry walls with window opening subjected to in-plane lateral load. Engineering Structures. 2020; <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111148>.
- [7] Chang LZ, Rots JG, Esposito R. Influence of openings on two-way bending capacity of unreinforced masonry walls. Journal of Building Engineering. 2022; <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104222>.
- [8] Galman I, Jasiński R, Hahn T. Badanie połączeń ścian murowych. Materiały Budowlane. 2017. DOI: 10.15199/33.2017.10.32.
- [9] Galman I, Jasiński R. Shear capacity of traditional joints between walls made of AAC masonry units. CE/Papers. 2023; 2: 119 – 124.
- [10] Zahra T, Dorji J, Thamboo J, Asad M, Kasinski W, Nardone A. In-plane and out-of-plane shear characteristics of reinforced mortarless concrete block masonry. Journal of Building Engineering. 2023; <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.105938>.
- [11] Drobiec Ł. Przeciwdziałanie zarysowaniu ściskanych murów zbrojeniem spoin wspornych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, seria Monografie nr 452, Gliwice 2013.
- [12] Timperman P, Rice T. Bed joint reinforcement in masonry. Proceedings of the Fourth International Masonry Conference. British Masonry Society. London 1995; 2: 451 – 453.
- [13] Bruckner H. Gewerk Mauerwerksbau. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2002.
- [14] Drobiec Ł. Badania ścian z ABK w skali naturalnej poddanych ściskaniu – analiza strefy wokół okna. Cz. 1. Materiały Budowlane. 2018. DOI: 10.15199/33.2018.09.20.
- [15] Drobiec Ł, Mazur W. Wpływ nowego typu zbrojenia na nośność i rysoodporność ściskanych murów z ABK – badanie strefy wokół okna. Materiały Budowlane. 2022. DOI: 10.15199/33.2022.04.04.

Podziękowanie

Dziękuję firmie Solbet Sp. z o.o. za współpracę przy prowadzeniu badań ścian z betonu komórkowego.

Partner działu:

Stowarzyszenie Producentów Betonów

www.s-p-b.pl



ROK ZAŁOŻENIA 1994