

# Efektywność zbrojenia siatkami kompozytowymi murowanych ścian zginanych z płaszczyzny

Prof. dr hab. inż. Romuald Orłowicz, mgr inż. Rafał Jaworski, dr inż. Rafał Nowak, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin, dr hab. inż. Łukasz Drobiec, Politechnika Śląska, Gliwice

## 1. Wprowadzenie

Zginanie z płaszczyzny murowanych ścian może być skutkiem obciążenia eksploatacyjnego (meble, zawieszane urządzenia, obciążenie tłumem ścian działowych), wyjątkowego (uderzenie pojazdu, wybuch gazu), obciążenia wiatrem (ostonowe ściany zewnętrzne) oraz parciem wody i/lub naporem gruntu [1]. Charakter zniszczenia takich ścian jest podobny do zniszczenia płyt żelbetonowych i polega na powstaniu poziomych, pionowych oraz ukośnych zarysowań, które dzielą płytę na mniejsze części [2, 3, 4]. Sposób zarysowania oraz szacowanie nośności ścian murowanych zginanych z płaszczyzny określa się na podstawie teorii linii uplastycznienia lub metody linii załomów, uwzględniającej ortotropię sztywności muru [4]. W przypadku niewystarczającej nośności ścian można zastosować wzmocnienie w postaci zbrojenia usytuowanego w spoinach wspornych (na etapie projektowania) lub zamocowanego do powierzchni bocznych ścian (na etapie projektowania i w trakcie użytkowania konstrukcji). Dotychczas najczęściej jako zbrojenie stosowano siatki stalowe, natomiast ostatnio coraz szerzej wykorzystuje się siatki z materiałów kompozytowych.

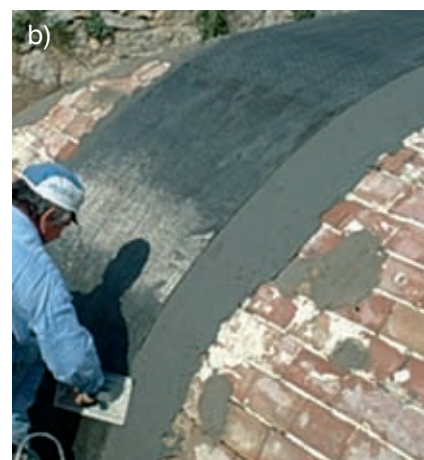
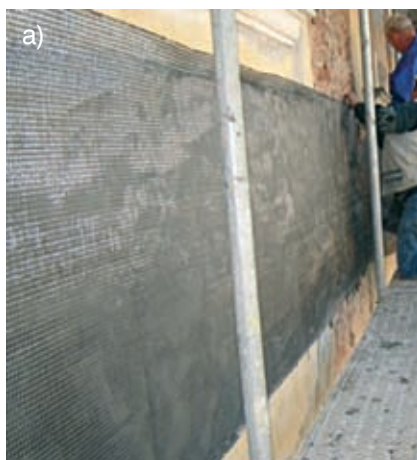
Problem niewystarczającej nośności i małej odporności na zarysowanie dotyczy zwłaszcza murów z cienkimi spoinami wspornymi o grubości 0,5–3,0 mm. W murach

takich usytuowanie siatek w spoinach wspornych wiąże się zazwyczaj z problemami technologicznymi zapewnienia wymaganej otuliny, a zastosowanie zbrojenia wbrew oczekiwaniom często nie powoduje zwiększenia, lecz zmniejszenie nośności muru [5]. Warto nadmienić, że obecnie w wielu krajach Zachodniej Europy do 80% murów wykonuje się właśnie z zastosowaniem cienkich spoin, a w Polsce procent murów wznoszonych na cienkich spoinach wynosi już około 40%. Tak znaczny rozwój technologii wznoszenia murów na cienkie spoiny stał się możliwy dzięki nowoczesnym metodom wykonania ceramicznych, siliikatowych i betonowych elementów murowych, których wymiary cechują się bardzo dużą dokładnością. Z punktu widzenia jednorodności mury na cienkich spoinach zbliżone

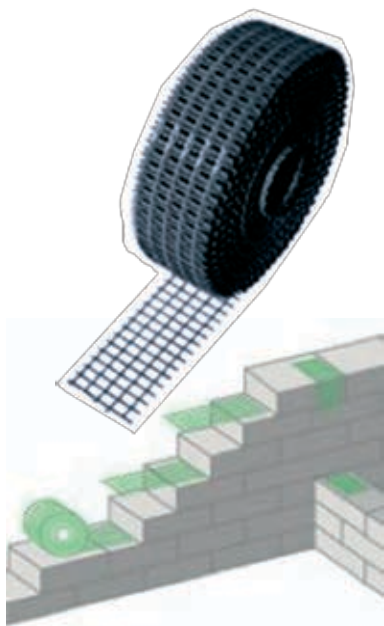
są do monolitycznych tarcz betonowych niezbrojonych, a co za tym idzie są mniej odporne na zarysowania i spękania. W artykule, na podstawie wyników badań murów zginanych z płaszczyzny, omówiono wpływ zbrojenia taśmami kompozytowymi na ich nośność.

## 2. Technologia dozbrajania ścian materiałami kompozytowymi

Wzmocnienie muru materiałami kompozytowymi można realizować przez ich mocowanie na zewnętrzne powierzchnie ścian lub układanie w spoinach wspornych muru. W wypadku zbrojenia powierzchniowego od kilku lat stosuje się taśmy i maty na matrycy polimerowej PMC (*Polimer Matrix Composites*) z włóknami szklanymi, węglowymi lub aramidowymi. Zaletą



Rys. 1. Zbrojenie ściany murowanej (a) i sklepienia ceglano (b) materiałami FRCM [5]



**Rys. 2.** Zbrojenie muru w cienkich spoinach siatkami kompozytowymi

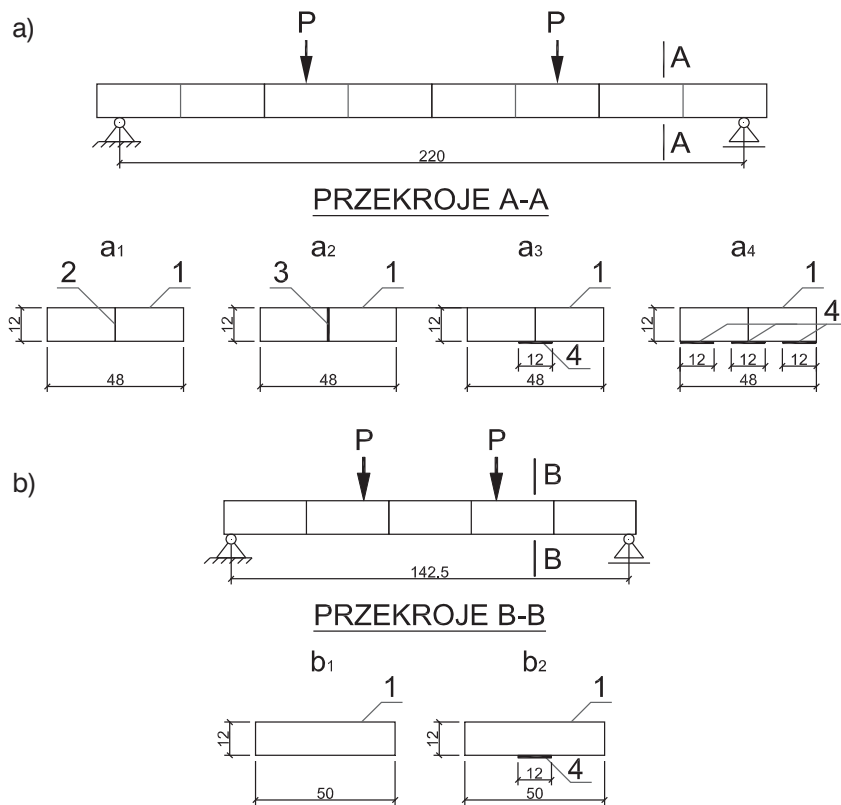
tych technologii jest mały ciężar, duża wytrzymałość i prosta aplikacja, natomiast wadą brak odporności na podwyższone temperatury i wysokie wymagania związane z przygotowaniem powierzchni, na których aplikowane ma być wzmocnienie. Ostatnio dużą popularność zdobyły materiały kompozytowe na matrycy cementowej FRCM (*Fiber Reinforced Cementitious Matrix*). Na rysunku 1 pokazano przykłady zbrojenia powierzchniowego konstrukcji murowych systemem FRCM (Ruredil X Mech C10/M25 [5]). System ten jest szczególnie skuteczny przy wzmocnieniu budynków poddawanych działaniom obciążeń sejsmicznych lub parasejsmicznych (np. wpływów od podziemnej eksploatacji górniczej), wstrząsów od ruchu drogowego itp. Technologia wykonania wzmocnienia polega na nakładaniu warstwy zaprawy na uprzednio przygotowane, zwilżone podłoże z jednoczesnym wtopieniem w tą warstwę siatki z włókien kompozytowych, a następnie nakładaniu zewnętrznej wykończeniowej warstwy zaprawy. Ze względu na lepsze właściwości siatki w jednym kierunku, zwykle nakłada się ją naprzemiennie pod kątem 0 i 90 stopni w stosunku do płaszczyzny spoin wspornych muru. Istnieje również możliwość

racjonalnego wykorzystania właściwości anizotropowych siatek poprzez usytuowanie włókien siatki w kierunku prostopadłym do przewidywanych zarysowań i spękań [6].

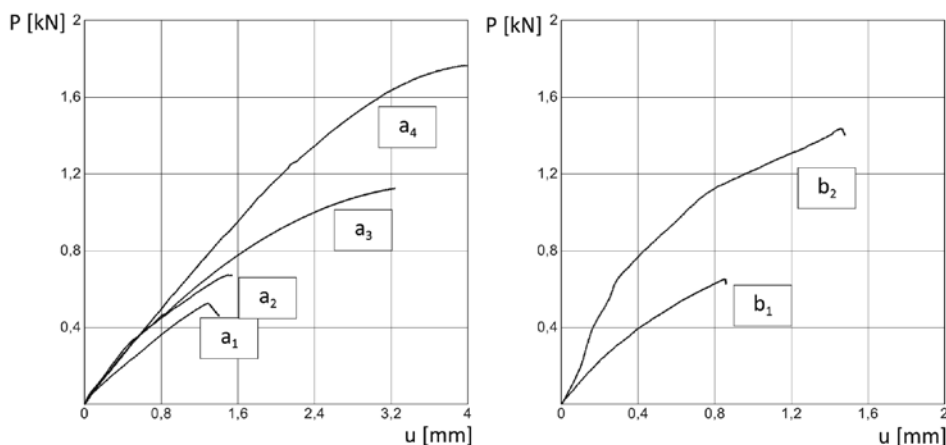
Sposób zbrojenia muru siatkami kompozytowymi umiejscowionymi w spoinach wspornych muru pokazano na rysunku 2 [6]. Podobnie jak w wypadku dozbrojenia powierzchniowego stosuje się najczęściej siatki z włóknami szklanymi, węglowymi lub aramidowymi. Technologia wykonania dozbrojenia polega na wtapianiu siatki w zaprawę spoin wspornych, przed nałożeniem kolejnej warstwy elementów murowych. Zbrojenie podaje się z rolki, co ułatwia jego aplikację. Badania prowadzone w Politechnice Śląskiej wykazały, że w przypadku pojedynczego nałożenia warstwy zaprawy do spoin cienkich można nie uzyskać właściwego otulenia zbrojenia przy jego wtapianiu w spoinę [7]. Może to skutkować obniżeniem nośności muru zginanego lub ścinanego.

### 3. Badania nośności murów zginanych z płaszczyzny wzmocnionych siatkami kompozytowymi

Usytuowanie zbrojenia w spoinach wspornych zwiększa nośność ścian murowanych przy ich obciążeniu w swojej płaszczyźnie (zginaniu, ścisaniu lub ścinaniu). W literaturze technicznej brak jest natomiast informacji odnośnie skuteczności zbrojenia ścian murowanych zginanych w kierunku prostopadłym do płaszczyzny ściany. W związku z tym przeprowadzone zostały wstępne badania doświadczalne dotyczące skuteczności zbrojenia siatkami kompozytowymi modeli ścian wykonanych z bloczków z betonu komórkowego. Badaniom na zginanie z płaszczyzny poddano pasma muru obciążane w kierunku równoległym i prostopadłym do spoin wspornych. W pierwszym przypadku badano próbki niezbrojone oraz zbrojone siatkami kompozytowymi umiejscowionymi w spoinach wspornych



**Rys. 3.** Schematy badań próbek w postaci pasm ścian murowanych na zginanie z płaszczyzny (wymiary w cm): a – wzdłuż spoiny wspornej, b – prostopadłe do spoin wspornych; 1 – bloczki z betonu komórkowego, 2 – spoina wsporna, 3 – siatka zbrojeniowa w spoinie wspornej, 4 – siatka zbrojeniowa na powierzchni bocznej



**Rys. 4.**  
Zależności między ugięciem „u” a obciążeniem „P” wybranych próbek zginanych z płaszczyzny ściany wzdłuż (a) i w poprzek (b) spoin wspornych

lub zamocowanymi do bocznych powierzchni próbek w strefie rozciąganej (rys. 3a). W drugim przypadku zginano próbki niezbrojone oraz zbrojone siatkami kompozytowymi zamocowanymi do powierzchni bocznej w strefie rozciąganej (rys. 3b).

Próbki wykonano z bloczków z betonu komórkowego firmy Solbet o wymiarach 12x24x59 cm o masie objętościowej równej 600 kg/m<sup>3</sup>. Do zbrojenia zastosowano siatki Mapegrid G 220 z włókien szklanych firmy Mapei o wytrzymałości na rozciąganie 45 kN/m i wydłużeniu przy zerwaniu ok. 3%. Do spoin wspornych próbek zbrojonych i niezbrojonych stosowano zaprawę firmy Solbet. Zaprawą tą wypełniono również spoiny pionowe między bloczkami we wszystkich próbkach. Zamocowania siatek do powierzchni bocznej próbek wykonano na zaprawie cementowo-polimerowej Planitop HDM firmy Mapei.

Próbki obciążono dwoma siłami skupionymi usytuowanymi w 1/3 ich rozpiętości aż do zniszczenia, mierząc równocześnie za pomocą czujników indukcyjnych ich ugięcie „u” w środku rozpiętości. Wybrane wyniki badań próbek podano na wykresach (rys. 4) w postaci zależności „obciążenie – ugięcie”. Charakter niszczenia próbek niezbrojonych był kruchy bez ostrzeżenia, natomiast próbki zbrojone charakteryzowały się pewną lepkością niszczenia.

W stanie granicznym niezależnie od orientacji spoin wspornych względem płaszczyzny zginania występowało zarysowanie bloczków

w strefie rozciąganej i rozerwanie siatek zbrojeniowych. Nośność próbek a<sub>2</sub> ze zbrojeniem w spoinie wspornej była o ok. 30% większa niż próbek a<sub>1</sub> bez zbrojenia. Nośność próbek a<sub>3</sub> o tym samym przekroju zbrojenia jak i próbek a<sub>2</sub>, lecz zamocowanym do powierzchni bocznej była natomiast ponad dwa razy większa niż niezbrojonych próbek a<sub>1</sub>. Jeszcze większy wzrost nośności (o ok. 3,4 razy) stwierdzono dla próbek a<sub>4</sub> ze zbrojeniem powierzchniowym o przekroju trzykrotnie większym niż próbek a<sub>3</sub>. Przy zginaniu prostopadle do spoin wspornych nośność próbek b<sub>2</sub> zbrojonych powierzchniowo (o tym samym przekroju zbrojenia jak i próbek a<sub>3</sub>) była o około 2,2 razy większa niż niezbrojonych próbek b<sub>1</sub>. Warto nadmienić, że przy zbrojeniu powierzchniowym zaobserwowano również wzrost sztywności giętej próbek.

#### 4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że zbrojenie ścian murowanych zginanych z płaszczyzny jest najbardziej skuteczne, gdy siatki zbrojeniowe są zamocowane do powierzchni bocznych muru. Rozwiązanie to jest bardzo skuteczne – w badaniach uzyskano przynajmniej ponaddwukrotny wzrost nośności modeli. Usytuowanie zbrojenia w spoinach wspornych ma natomiast niewielki wpływ na nośność ścian przy ich zginaniu w płaszczyźnie spoin wspornych. Należy jednak pamiętać, że badania prowadzono na modelach ułożonych w pozycji poziomej. W rzeczywistych

ścianach ciężar własny muru działa korzystnie poprzez zwiększenie strefy ściskanej przekroju zginanego. Wówczas wpływ zbrojenia sytuowanego w spoinach wspornych powinien być większy.

*Autorzy wyrażają podziękowanie firmom Solbet i Mapei – sponsorom badań doświadczalnych.*

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Drobiec Ł., Zasady projektowania ścian wypełniających na podstawie norm europejskich. Akademia Solbet. Ściany Wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo, Solec Kujawski 2014, s.25-40
- [2] Małyszko L., Orłowicz R., Konstrukcje murowe. Zarysowania i naprawy. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn, 2000
- [3] Orłowicz R., Małyszko L., Kindracki J., Morfologia uszkodzeń ścian i elementów wykończenia w konstrukcjach murowych. XIV Ogólnopolska Konferencja Warsztat Prac Projektanta Konstrukcji, Ustroń, 1999, tom 1, część 2, s. 167–192
- [4] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A., Konstrukcje murowe według Eurokodu 6 i norm związanych. T. 2. PWN, Warszawa 2014
- [5] Drobiec Ł., Przeciwdziałanie zarysowaniu ściskanych murów zbrojeniem spoin wspornych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013
- [6] Ruredil X Mesh C10/M25., System wzmacniania konstrukcji murowanej przy pomocy siatek z włókna węglowego osadzonej w zaprawie cementowej, VIS BUD Wrocław 2005
- [7] Jackiewicz M., Orłowicz R., Nowak R., Wybrane zagadnienia napraw konstrukcji murowych materiałami FRMC. Renowacja budynków i modernizacja obszarów zabytkowych. T.6. Zielona Góra 2010
- [8] Jasiński R., Warunki konstruowania ścian wypełniających. Akademia Solbet. Ściany Wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo, Solec Kujawski 2014, s. 41–55