

prof. dr hab. inż. Romuald Orłowicz<sup>1)</sup>  
mgr inż. Rafał Jaworski<sup>1)</sup>  
dr inż. Rafał Nowak<sup>1)\*</sup>  
dr hab. inż. Łukasz Drobiec<sup>2)</sup>

# Pryczepność zbrojenia z siatek kompozytowych w murach z betonu komórkowego

## *Adhesion of composite nets reinforcement in AAC masonry walls*

DOI: 10.15199/33.2015.04.05

**Streszczenie.** W artykule opisano wyniki badań przyczepności siatek kompozytowych do muru z betonu komórkowego. Przeanalizowano przyczepność siatek w zaprawie spoin wspornych oraz jako zbrojenia powierzchniowego. W obu przypadkach uzyskano wysokie wartości siły wrywającej.

**Słowa kluczowe:** zbrojenie muru, przyczepność zbrojenia, badania przyczepności.

**Abstract.** In the article research tests of the adhesion of composite nets to the AAC masonry were described. A bonding of nets was analysed in the bad joints mortar and as the surface reinforcement. In both cases high values of pull out force were getting.

**Keywords:** masonry reinforcement, adhesion of the reinforcement, adhesion tests.

Mury z bloczków z betonu komórkowego są od dawna powszechnie stosowane w kraju i za granicą. Wznoszone często na cienkich spoinach wspornych grubości  $0,5 \div 3,0$  mm są, z punktu widzenia jednorodności, zbliżone do monolitycznych tarcz betonowych niezbrojonych, a w efekcie mało odporne na zarysowania i spękania. W przypadku niewystarczającej nośności takich ścian można zastosować wzmocnienie w postaci zbrojenia usytuowanego w spoinach wspornych (na etapie projektowania) lub zamocowanego do powierzchni bocznych (na etapie projektowania i w trakcie użytkowania konstrukcji). W obu przypadkach nośność wzmocnienia zależy m.in. od sił przyczepności [1, 2]. W artykule opisano badania przyczepności zbrojenia z siatek kompozytowych do muru wykonanego z betonu komórkowego.

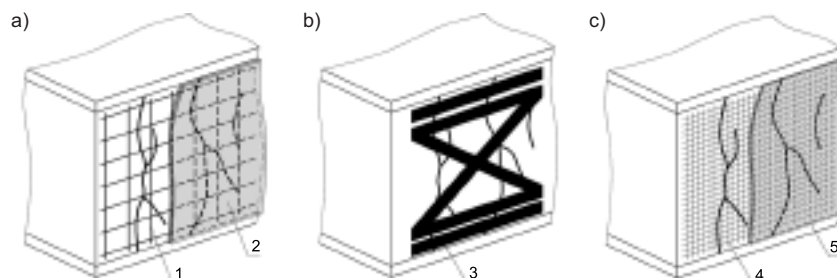
### Metody dozbrojania ścian

Dozbrojenie muru w spoinach wspornych wykonuje się podczas wznoszenia konstrukcji [3, 4]. Jako zbrojenie kompozytowe stosuje się najczęściej siatki z włókien szklanych, węglowych lub aramidowych. Technologia wykonania dozbrojania polega na wtapianiu

siatki w zaprawę spoin wspornych, przed nałożeniem kolejnej warstwy elementów murowych. Zbrojenie podaje się najczęściej z rolki, co ułatwia 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 [5].

Wzmocnienie powierzchniowe polega na utworzeniu konstrukcji zespolonej: muru ze wzmocnieniem, czyli kilkucentymetrową warstwą z dodatkowym zbrojeniem układaną przy powierzchni naprawianej ściany. Warstwą wzmacniającą może być zwykły tynk cementowy lub cementowo-wapienny zbrojony siatką lub zbrojony beton natryskowy (rysunek 1a). Często stosuje się laminaty FRP (*fiber reinforced polymer* lub *fiber reinforced plastic*), czyli materiały kompozytowe na bazie matrycy polimerowej zbrojonej włóknami (rysunek 1b).

Ostatnio dużą popularność zdobyły również materiały kompozytowe na matrycy cementowej FRCM (*fiber reinforced cementitious matrix*) – rysunek 1c. Wzmocnienie powierzchniowe stosuje się najczęściej, gdy na ścianach występuje duża liczba nieregularnych, rozrzucanych rys oraz w przypadku konieczności wzmocnienia nieuszkodzonej ściany. Wzmocnienie może być wykonane jako jednostronne lub dwustronne, na całej powierzchni ściany lub tylko na jej części. W przypadku zastosowania laminatów FRP wykorzystuje się niemetaliczne włókna o wysokich właściwościach mechanicznych, które zatapia się w polimerach (np. w żywicy epoksydowej, poliestrowej, winyloestrowej). Najczęściej spotykane kompozyty to polimery zbrojone włóknami węglowymi (CFRP – *carbon fiber reinforced polymer*), szklanymi (GFRP – *glass fiber* ...) lub aramidowymi (AFRP – *aramid fiber* ...), choć w świecie prowadzi się badania nad wy-



**Rys. 1. Wzmocnienie powierzchniowe:** a) za pomocą tynku lub betonu zbrojonego; b) laminatami FRP; c) materiałami FRCM; 1 – siatka stalowa; 2 – beton lub tynk; 3 – laminat FRP; 4 – siatka z włókien; 5 – matryca cementowa

*Fig. 1. Surface reinforcement: a) with plaster or the reinforced concrete; b) FRP laminates; c) with FRCM materials; 1 – steel net; 2 – concrete or plaster; 3 – FRP laminate; 4 – fibre net; 5 – cement matrix*

<sup>1)</sup> Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury

<sup>2)</sup> Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Budownictwa

<sup>\*)</sup> Autor do korespondencji;  
e-mail: mowak@zut.edu.pl

korzystaniem włókien bazaltowych, stalowych czy naturalnych pochodzenia roślinnego (np. konopne, lniane). Powierzchnie, które mają być poddane wzmocnieniu, powinny być całkowicie czyste, mocne, równe i suche, dlatego wszelkie pozostałości tynków, starych farb czy innych powłok muszą zostać usunięte, np. przez piaskowanie. Przykład wzmocnienia budynku laminatami GFRP pokazano na fotografii 1.

W wypadku wzmocnienia za pomocą kompozytów FRCM stosuje się nieorganiczną zaprawę ze spoiwa cementowego i różnych dodatków oraz siatki z włókien węglowych, szklanych, bazaltowych, aramidowych i innych. Zaprawa, która powstaje z suchej mieszanki, przywożonej w workach i wymagającej dodania na budowie wody, jest fizycznie i chemicznie kompatybilna z murem, a szczególnie z murem z cegły. Wytyczne [6] dopuszczają stosowanie polimerowych dodatków do zaprawy, przy czym maksymalna zawartość składników organicznych jest ograniczona do 5% wagi cementu. Warstwa zaprawy jest w stanie wyrównać nierówności ściany, nie ma więc potrzeby wstępnego oczyszczania i wygładzania podłoża, jak to ma miejsce przy wzmocnieniach z użyciem FRP. Nie wymaga się, aby podłoże było suche, wręcz przeciwnie niektóre systemy zalecają jego zwilżenie przed aplikacją zaprawy. Naprawa polega na ułożeniu pierwszej warstwy zaprawy, wtopieniu w nią siatki, a następnie nałożeniu kolejnych warstw. Całkowita grubość naprawy wynosi  $1 \div 4$  cm. Wytrzymałość wzmocnienia kompozytami FRCM jest z reguły mniejsza niż za pomocą laminatów FRP. Przykład wzmocnienia przy użyciu kompozytu FRCM (zaprawa



**Fot. 1. Przykład wzmocnienia naroża budynku laminatami GFRP** [Fot. Autorzy]  
Photo 1. Example of strengthening a corner of a building with GFRP laminates

i siatka z włókien węglowych) żeber i jednego łęku sklepień krzyżowych murowanych z cegły dziurawki pokazano na fotografii 2.

Skuteczność zbrojenia muru w dużym stopniu zależy od przyczepności elementów zbrojeniowych do zaprawy. Norma PN-EN 1996-1-1 [7] podaje charakterystyczne wartości przyczep-



**Fot. 2. Naprawa żeber i łęku sklepień krzyżowych systemem FRCM: a) wtopianie siatki z włókien węglowych na powierzchni łęku; b) częściowo wtopiona siatka; c) i d) wzmocnione żebra** [Fot. Autorzy]

Photo 2. Repair of cross vaulting with FRCM system: a) setting the net of carbon fibres on the surface of the vault, b) the net partly set, c) and d) strengthened ribs

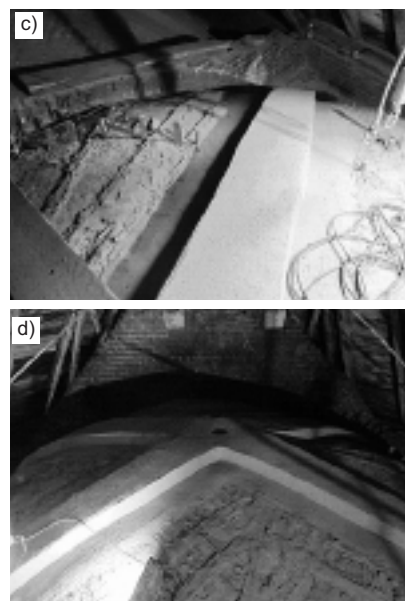
ności  $f_{bok}$  zbrojenia w zaprawie lub w betonie wypełniającym jedynie w przypadku prętów stalowych. Natomiast w literaturze technicznej nie ma danych dotyczących przyczepności w zaprawie zbrojenia w postaci siatek kompozytowych. W związku z tym, w myśl postanowień normy [7], przyczepność zbrojenia do zaprawy należy określić na podstawie wyników badań doświadczalnych.

## Badania przyczepności

W przeprowadzonych przez autorów badaniach wykorzystano elementy murowe w postaci bloczków z betonu komórkowego firmy SOLBET o wymiarach  $12 \times 24 \times 59$  cm i masie objętościowej  $600 \text{ kg/m}^3$ . Do zbrojenia zastosowano siatki Mapegrid G220 z włókien szklanych firmy MAPEI o wytrzymałości na rozciąganie  $45 \text{ kN/m}$  i wydłużeniu przy zerwaniu ok. 3% (fotografia 3). Do spoin wspornych próbek zbrojonych i niezbrojonych stosowano zaprawę do cien-

kich spoin firmy SOLBET. Zamocowanie siatek do powierzchni bocznej próbek wykonano na zaprawie cementowo-polimerowej Planitop HDM firmy MAPEI.

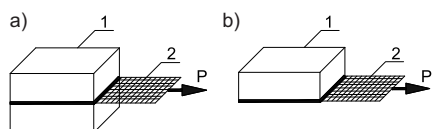
Rozważając stan naprężeń w murze zbrojonym, można wyróżnić układ, w którym naprężenia rozciągające w zbrojeniu mogą spowodować zerwanie przyczepności między nim a zaprawą ze względu



**Fot. 3. Widok siatki kompozytowej Mapegrid G220 (a) i jej aplikacja w postaci zbrojenia powierzchniowego (b)** [Fot. archiwum MAPEI]

Photo 3. View of the composite Mapegrid G220 (a) and her application in the form of the surface reinforcement (b)

na ścinanie. Badania odzwierciedlające ten stan naprężeń wykonano wg schematów pokazanych na rysunku 2.

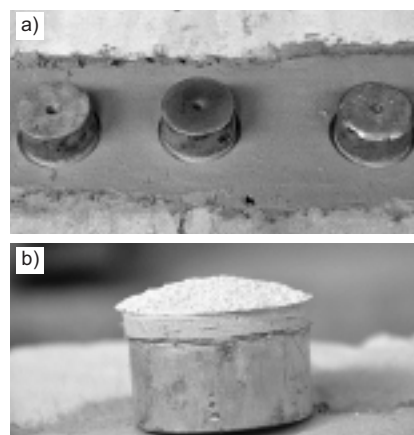


**Rys. 2.** Schematy badań przyczepności siatek kompozytowych (1) przy wrywaniu ze spoiny wspornej (a) i z zaprawy na powierzchni bocznej (b) bloczków z betonu komórkowego (2)

*Fig. 2.* Scheme of the research on the adhesion of composite nets (1) at pulling out from the bed joint (a) and on the surface side (b) of AAC blocks (2)

W przypadku wrywania siatek ze spoiny wspornej stwierdzono, że utrata ich przyczepności do zaprawy następowała w wyniku wyciągania podłużnych włókien siatki z zaprawy, a włókna poprzeczne pozostawały w zaprawie. Wytrzymałość na wrywanie wynosiła  $f_v = 0,18$  MPa. Badania próbek wg schematu z rysunku 2b wykazały, że w stanie granicznym następuje ścinanie betonu komórkowego na styku z zaprawą, w której zamocowano siatkę. Wytrzymałość na zrywanie była równa wytrzymałości betonu komórkowego na ścinanie, której wartość wg badań wynosiła  $f_v = 1,36$  MPa.

Dodatkowo przeprowadzono badania przyczepności siatek zamocowanych do powierzchni bocznych bloczków metodą „pull-off” (na odrywanie), co pokazano na fotografii 4a. We wszystkich badaniach stwierdzono zniszczenie w warstwie betonu komór-

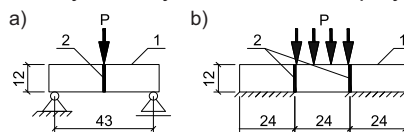


**Fot. 4.** Badania przyczepności siatek kompozytowych do powierzchni bocznych bloczków metodą „pull-off” (a) i charakter zniszczenia (b)

[Fot. Autorzy]  
*Photo 4.* Adhesion tests of composite nets on the surface of AAC blocks with method “pull-off” (a) and character of damage (b)

kowego (fotografia 4b). Nośność na odrywanie wynosiła ok. 0,6 MPa, co jest wartością bliską wytrzymałości betonu komórkowego na rozciąganie wynoszącą ok. 0,65 MPa (wartość uzyskana w badaniach własnych).

W ścianach murowych może występować stan naprężeń wywołujący ścinanie wzdłuż spoin wspornych lub rozciąganie prostopadłe do tych spoin [8]. W przypadku tym istotną cechą muru jest przyczepność zaprawy do elementu murowego ze względu na ścinanie  $f_{vk}$  zgodnie z PN-EN 1052-3 [9] oraz przyczepność na rozciąganie  $f_{tz}$  określona zgodnie z PN-EN-1015-12 [10]. Zastosowanie zbrojenia z siatek kompozytowych w spoinach wspornych może doprowadzić do obniżenia wartości  $f_{vk}$  i  $f_{tz}$  z uwagi na rozsegregowanie spoiny wspornej przez to zbrojenie. Poślizg na styku zbrojenia zależy od relacji pola powierzchni siatki do pola powierzchni spoiny wspornej. W celu określenia takiego wpływu zbrojenia przeprowadzono badania próbek na rozciąganie przy zginaniu prostopadłe do spoin wspornych i na ścinanie równoległe do spoin wspornych wg schematów pokazanych na rysunku 3. W obu przy-



**Rys. 3.** Schematy badania próbek na zginanie prostopadłe (a) i na ścinanie równoległe (b) do spoin wspornych; 1 – bloczki z betonu komórkowego; 2 – spoina wsporna (wymiar w cm)

*Fig. 3.* Tests schemes of samples for bending (a) and for cutting parallel (b) to bed joints, 1 – AAC blocks; 2 – bed joint (dimensions in the cm)

padkach relacja między powierzchnią siatek zbrojeniowych Mapegrid G220 a powierzchnią spoiny wspornej wynosiła ok. 25%. Dla porównania badano również próbki bez zbrojenia.

W badaniach próbek przeprowadzonych wg schematu pokazanego na rysunku 3a stwierdzono, że zniszczenie następowało w wyniku rozerwania bloczków z betonu komórkowego w strefie kontaktu z zaprawą. Wytrzymałość charakterystyczna na rozciąganie przy zginaniu próbek bez zbrojenia wynosiła  $f_{ck} = 0,54$  MPa i  $f_{ck} = 0,57$  MPa w przypadku próbek ze zbrojeniem. Niszczenie próbek wg schematu z rysunku 3b następowało w wyniku

ścinania bloczków z betonu komórkowego w pobliżu kontaktu za spoinami wspornymi. Wytrzymałość charakterystyczna na ścinanie próbek niezbrojonych wynosiła  $f_v = 1,36$  MPa, a próbek zbrojonych  $f_v = 1,34$  MPa.

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że przyczepność siatek z włókna kompozytowego do betonu komórkowego zarówno przy użyciu zapraw firmy SOLBET (w spoinach), jak i MAPEI (powierzchniowo) jest wystarczająco duża. Stosowanie siatek w spoinach wspornych nie wpływa na wytrzymałość muru przy rozciąganiu w poprzek i ścinaniu wzdłuż spoin wspornych.

*Autorzy wyrażają podziękowanie firmom SOLBET i MAPEI za pomoc w realizacji badań.*

## Literatura

- [1] Aiello M. A., Sciolti S. M.: Bond analysis of masonry structures strengthened with CFRP sheets. *Construction and Building Materials*, Vol. 20, nr 1–2, 2006, s. 90 – 100.
- [2] Biolzi L., Ghittoni C., Fedele R., Rosati G.: Experimental and theoretical issues in FRP-concrete bonding. *Construction and Building Materials*, Vol. 41, 2013, s. 182-190.
- [3] Drobiec Ł.: Analiza murów z cegły pełnej ze zbrojeniem w spoinach wspornych poddanych obciążeniom pionowym. *Rozprawa Doktorska*, Gliwice 2004.
- [4] Drobiec Ł., Kubica J.: Influence of Some Types of Bed Joint Reinforcement on Mechanical Properties of Masonry Under Compression. *Proceedings of the British Masonry Society*, no. 9, November 2002, Published by the Society Stoke-on-Trent, s. 99 – 104.
- [5] Jasiński R.: Warunki konstruowania ścian wypełniających. *Akademia Solbet. Ściany Wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo*, Solec Kujawski 2014, s. 41 – 55.
- [6] ACI 549.4R-13: Guide to Design and Construction of Externally Bonded Fabric-Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) Systems for Repair and Strengthening Concrete and Masonry Structures, 2013.
- [7] 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.
- [8] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A.: *Konstrukcje murowe według Eurokodu 6 i norm związanych*. T. 2. PWN, Warszawa 2014.
- [9] PN-EN 1052-3:2004/A1:2009: Metody badań murów. Część 3: Określenie początkowej wytrzymałości muru na ścinanie.
- [10] PN-EN 1015-12:2002: Metody badań zapraw do murów. Część 12: Określenie przyczepności do podłoża stwardniałych zapraw na obrzutkę i do tynkowania.

Otrzymano 13.03.2015 r.