

dr inż. Iwona Galman<sup>1\*)</sup>  
dr inż. Radosław Jasiński<sup>1)</sup>

# Połączenia ścian murowych, podstawy teoretyczne

*Joints in masonry walls, theoretical basis*

DOI: 10.15199/33.2017.08.54

**Streszczenie.** Podczas projektowania zakłada się przestrzenną współpracę stropów oraz ścian, która wpływa na warunki stateczności oraz sztywności konstrukcji budynku. Połączenia ścian rozpatruje się nie tylko w aspekcie konstrukcyjnym, ale również pod kątem izolacyjności termicznej i akustycznej, które najczęściej absorbują największą uwagę. Normy projektowania konstrukcji murowych nakazują jednak sprawdzenie nośności połączenia ścian, nie podając żadnych algorytmów obliczeniowych, a nawet procedur badawczych. Taki stan rzeczy wynika z tradycyjnego podejścia, że spełnienie warunków konstrukcyjnych zapewnia spełnienie warunków ULS. Przy stosowaniu nowoczesnych konstrukcji ścian oraz łączników sprawdzenie nośności połączenia ścian może okazać się niewystarczające, a nawet niebezpieczne. Artykuł rozpoczyna cykl publikacji poświęconych tematyce połączeń ścian, starając się wypełnić obserwowaną lukę w aktualnym stanie wiedzy. Na wstępie zaprezentowane zostaną ustalenia normowe i podstawowe poglądy w tej dziedzinie. W kolejnych publikacjach omówione zostaną wyniki badań własnych połączeń ścian murowych z autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK) i numeryczne modele MES.

**Słowa kluczowe:** konstrukcje murowe, ściany usztywniające, połączenia ścian, łączniki, zbrojenie spoin wspornych.

**Abstract.** In the design process spatial co-operation of floors and walls is assumed which has an influence on the stability and stiffness of the building's structure. Wall joints are investigated not only in the structural aspect but also in the view of their thermal and acoustic insulation, which usually focuses most of the attention. Design standards for masonry structures demand, however, that load-bearing capacity of walls joints is controlled but without providing any calculation algorithms, let alone testing procedures. This results from the commonly used assumption that conditions of structural safety are fulfilled when ULS conditions are satisfied. When modern structures of masonry walls and connectors are used, control of the load-bearing capacity of the wall joints can be insufficient or even dangerous. This paper begins a series of publications dedicated to the topic of wall joints, aiming at filling up a void in the current state of the art. This introduction presents standard recommendations and basic approaches to the matter. The following publications will discuss the original test results of autoclaved aerated concrete (AAC) masonry walls joints and numerical simulations.

**Keywords:** masonry structures, stiffening walls, wall joints, connectors, bed joint reinforcement.

**D**okonując sprawdzenia warunków stanu granicznej nośności (ULS) konstrukcyjnych ścian murowanych, każdorazowo zakłada się przestrzenną współpracę z innymi elementami konstrukcji budynków. W wypadku żelbetowych stropów z uwagi na przekazanie eksploatacyjnych obciążeń pionowych oraz momentów zginających sprawa wydaje się dość oczywista. Inaczej jest w wypadku ścian leżących w poziomie tej samej kondygnacji. W elementach obciążonych głównie pionowo sąsiednie ściany wpływają na stateczność, determinując wysokość efektywną  $h_{ef}$  obliczanej ściany. Natomiast w ścianach usztywniających współpraca lub brak współpracy ścian decyduje o sztywności zespołu usztywniającego  $K$  (przekroje z półką lub bez półki), a w konsekwencji o wielkości działających obciążeń (sił poziomych  $N$  oraz momentów zginających  $M$ ). Połączenia ścian należy rozpatrywać z uwagi na kierunek działania obciążeń, a więc:

- połączenia w ścianach obciążonych głównie pionowo powstające najczęściej przy nierównomiernym obciążeniu ścian;
- połączenia w ścianach usztywniających występujące we wszystkich współpracujących fragmentach ścian (ang. *flanged wall*) spowodowane obciążeniem poziomym.

Oprócz kwestii bezpieczeństwa istotną rolę odgrywają także problemy fizyki budowli, a więc zagadnienia związa-

ne z izolacyjnością termiczną, a szczególnie akustyczną tych fragmentów konstrukcji budynków. Patrząc przez pryzmat bezpieczeństwa i fizyki budowli, połączenia ścian murowanych nabierają istotnego znaczenia w procesie projektowania, eksploatacji i utrzymania budowli. Można wręcz sądzić, że problematyka połączeń ścian jest znacznie lepiej rozpoznana pod względem izolacyjności termicznej i akustycznej niż konstrukcyjnym. Taka tendencja wynika niewątpliwie z obostrzeń prawnych wymuszonych m.in. przepisami art. 20 dyrektywy 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków [6], dlatego też do badań i analiz wykorzystano ściany z ABK.

Problem konstrukcyjny był pomijany i bagatelizowany, kiedy stosowano klasyczne wiązania murarskie i połączenia nie wykazywały żadnych uszkodzeń. Obecnie wraz z wprowadzaniem nowych typów elementów murowych oraz łączników uszkodzenia stają się nagminne. Normy do projektowania wymagają od projektantów zapewnienia odpowiedniej współpracy krzyżujących się ścian, nie podając stosownych algorytmów sprawdzania warunków ULS nie tylko przy pełnym wiązaniu, ale także przy zastosowaniu różnych typów łączników, podając jedynie warunki konstruowania. Co więcej, nie zostały znormalizowane także procedury empirycznego wyznaczania nośności połączeń ścian. Tak więc projektowanie tego typu fragmentów budynków ma charakter czysto intuicyjny niepoparty badaniami i szczegółowymi analizami.

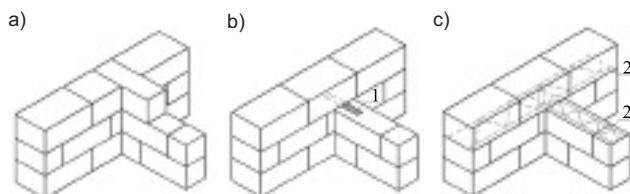
<sup>1)</sup> Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

<sup>\*)</sup> Adres do korespondencji: iwona.galman@polsl.pl

Artykuł rozpoczyna cykl publikacji dotyczących połączeń ścian murowych, mających na celu wypełnienie widocznej luki w obecnym stanie wiedzy. W części pierwszej omówione zostaną informacje normowe oraz nieliczne wyniki badań. Będzie stanowiło to punkt wyjścia i podstawę naukową badań własnych murów wykonanych z elementów murowych z ABK na cienkie spoiny. Następnie przedstawione zostaną wyniki badań rozpoznawczych, a na koniec wyniki analiz numerycznych MES.

## Ustalenia normowe

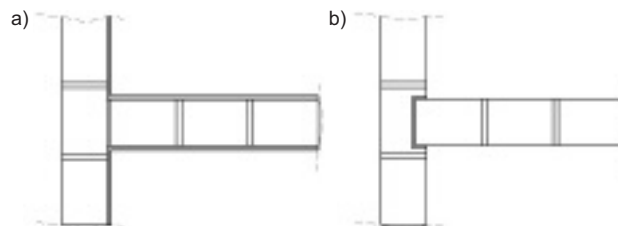
Eurokod 6 [12] wymaga, żeby ściany wzajemnie prostopadłe lub ukośnie łączyć ze sobą w sposób zapewniający przekazanie obciążeń pionowych i poziomych z jednej ściany na drugą. Może to być zrealizowane przez: przewiązanie muru (rysunek 1a); łączniki (rysunek 1b) lub zbrojenie przedłużone w każdą ze ścian (rysunek 1c). Połączenie z zastosowaniem łączników metalowych lub zbrojenia musi być pod względem konstrukcyjnym równoważne połączeniu przez wiązanie w murze, a z drugiej strony nie powinno powodować pogorszenia innych parametrów ściany, np. izolacyjności termicznej czy akustycznej. Liczba oraz rozstaw łączników powinny wynikać z odpowiednich obliczeń statycznych.



Rys. 1. Połączenie ścian: a) przez przewiązanie pełne – węzeł murarski; b) za pośrednictwem łączników; c) z udziałem zbrojenia strukturalnego; 1 – łącznik; 2 – zbrojenie

Fig. 1. Wall joints: a) full joint; b) with the use of connectors; c) with the use of longitudinal reinforcement; 1 – connector; 2 – structural type reinforcement

Zaleca się także, aby krzyżujące się ściany nośne były wznoszone jednocześnie, zapewniając właściwe przewiązanie elementów murowych w płaszczyźnie ich styku. Norma EC6 wymaga, aby konstrukcja i połączenia jej części składowych zapewniły odpowiednią stateczność i sztywność w trakcie wznoszenia i w okresie użytkowania. Niemniej jednak nigdzie nie sprecyzowano zaleceń szczegółowych. Identyczne zalecenia znajdowały się także we wcześniejszych polskich normach PN-B-03340:1999 [14] i PN-B-03002:2007 [13] oraz w ECV-6 [7]. Mniej rygorystyczne przepisy obowiązują w przypadku ścian niekonstrukcyjnych, które przejmują wyłącznie ciężar własny, a ich usunięcie nie wywołuje niekorzystnych skutków w konstrukcji budynku. W tym przypadku, poza połączeniem klasycznym i za pośrednictwem stalowych łączników, dopuszcza się połączenie ścian przez tynk (rysunek 2a) lub przez odpowiednio wykształtowaną bruzdę w przylegającej ścianie, czyli na tzw. jaskółczy ogon (rysunek 2b). Połączenie na styk nie zapewnia podparcia ściany w płaszczyźnie pionowej, a jedynie ogranicza poziomą swobodę przemieszczeń. W wypadku pionowego połączenia nienośnej ściany pełniącej funkcję oddzielania pożarowego ze ścianą nośną norma [17] zaleca stosowanie metalowych łączników.

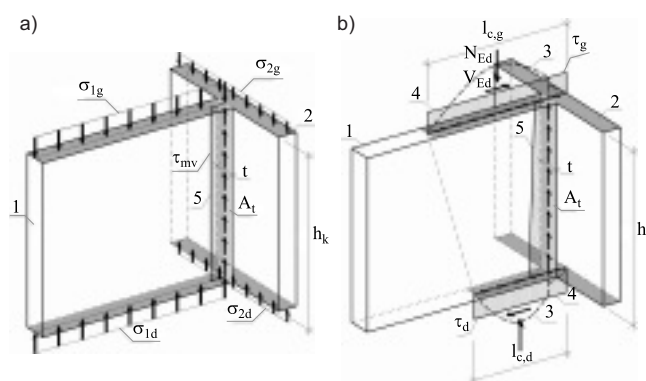


Rys. 2. Połączenie ścian niekonstrukcyjnych: a) za pomocą zaprawy; b) na jaskółczy ogon

Fig. 2. Joints in non-structural walls: a) with the use of mortar; b) dovetail joint

**Współpraca wzajemnie krzyżujących się ścian w ścianach usztywniających lub w ścianach obciążonych pionowo będzie zapewniona tylko wtedy, gdy połączenie będzie zdolne do przejścia sił ścinających występujących w ich styku.** Poza sprawdzeniem warunków stanu granicznego nośności ze względu na obciążenia pionowe konieczne jest także sprawdzenie warunków normowych dotyczących połączenia, a także warunków stanu granicznego na ścinanie połączenia.

Jak wspomniano we wstępie, naprężenia styczne w połączeniu mogą być wywołane nierównomiernym obciążeniem fragmentów ścian (rysunek 3a). Sytuacja taka jest bardzo powszechna, gdyż występuje we wszystkich ścianach obciążonych głównie pionowo, przy nierównych wartościach  $\sigma_{1g}$  i  $\sigma_{2g}$  i nawet identycznych właściwościach sprężystych łączących się ścian. Wartości stycznych naprężeń w połączeniu ścian zależą od długości współpracującej ściany oraz wartości naprężeń normalnych działających na ściany. Dotychczas jednak nie sformułowano żadnych, nawet przybliżonych, metod wyznaczania przebiegu naprężeń, a normy projektowania nie nakazują obliczeniowego sprawdzenia nośności.



gdzie:  $\sigma_{1g}$ ,  $\sigma_{1d}$  – naprężenie normalne działające na ścianę nr 1 na górnej i dolnej krawędzi;  $\sigma_{2g}$ ,  $\sigma_{2d}$  – naprężenie normalne działające na ścianę nr 2 na górnej i dolnej krawędzi;  $\tau_{mv}$  – wartość średnia naprężenia stycznego w połączeniu;  $N_{Ed}$  – sumaryczna siła pionowa;  $V_{Ed}$  – sumaryczna siła pozioma

Rys. 3. Naprężenia styczne w połączeniu: a) ścian obciążonych głównie pionowo; b) ścian usztywniających wg [5]; 1 – ściana usztywniająca; 2 – ściana prostopadła do ściany usztywniającej; 3 – rzeczywisty wykres naprężeń stycznych; 4 – idealizowany wykres naprężeń stycznych; 5 – idealizowany wykres naprężeń stycznych w połączeniu

Fig. 3. Longitudinal shear stresses in the joint: a) of stiffening walls acc. to [5]; b) walls loaded vertically; 1 – stiffening wall; 2 – wall perpendicular to stiffening wall; 3 – real diagram of longitudinal shear stresses; 4 – idealized diagram of longitudinal shear stresses; 5 – idealized diagram of longitudinal shear stresses in the joint

W połączeniach ścian usztywniających (rysunek 3b wg [5]), norma [12] zaleca, aby sprawdzać warunki ULS, natomiast nie podaje żadnej procedury obliczeniowej. Wartość siły ścinającej w pionowym połączeniu ściany można określić analogicznie jak w rosyjskiej normie [4]. Należy jednak wykorzystać wytyczne Eurokodu 6 o stałych wartościach naprężeń stycznych na górnej i dolnej krawędzi ściany, zamiast parabolicznych wykresów naprężeń obliczonych wg wzoru Żurawskiego. Założenie to powoduje uzyskanie linowo zmiennych naprężeń stycznych  $\tau(x)$  w połączeniu (rysunek 3b wg [5]).

Sumaryczną siłę poprzeczną krzyżujących się ścian można wyznaczyć wg równania:

$$V_{Ed} = t \int_0^h \tau(x) dx = \frac{\tau_g + \tau_d}{2} A_t \quad (1)$$

gdzie:

$\tau(x)$  – funkcja naprężeń stycznych w połączeniu,  
 $\tau_g, \tau_d$  – średnie naprężenia styczne na dolnej i górnej krawędzi ściany  
 $\tau_g = V_{Ed} / l_{c,g}, \tau_d = V_{Ed} / l_{c,d}$ ;  
 $l_{c,g}, l_{c,d}$  – długość strefy ściskanej przekroju (wyznaczana wg opisanej procedury);  
 $A_t$  – pole powierzchni połączenia ściany poprzecznej ze ścianą usztywniającą.  $A_t = t \cdot h_k$ , gdzie  $t$  – grubość ściany, a  $h_k$  – długość połączenia.

Uzyskaną w taki sposób siłę poprzeczną w połączeniu  $V_{Ed}$  należy porównać z obliczeniową nośnością  $V_{Rd}$  wyznaczoną zgodnie z p. 3.6.2 EC6 [12]. Ponadto, zgodnie z załącznikiem krajowym wspomnianej normy, z uwagi na kierunek działania sił względem płaszczyzny spoin wspornych, wzór normowy należy zmodyfikować. W miejsce początkowej wartości muru na ścinanie  $f_{vko}$  należy przyjąć wytrzymałość na ścinanie w kierunku prostopadłym do spoin wspornych  $f_{vvk}$ .

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = \frac{f_{vvk}}{\gamma_M} A_t \quad (2)$$

gdzie:

$\gamma_M$  – częściowy materiałowy współczynnik bezpieczeństwa, uwzględniający niedokładności geometryczne i modelu obliczeniowego.

Problematyczne może być wyznaczenie charakterystycznej wartości wytrzymałości muru na ścinanie w kierunku pionowym ( $f_{vvk}$ ). Wartość ta nie występuje poza polskim załącznikiem krajowym normy EC6 [12], gdzie jest stabelaryzowana (tabela 1) i przyjmowana w zależności od znormalizowanej wytrzymałości na ściskanie oraz od grupy elementów murowych. Nie ma również uregulowań normo-

**Tabela 1. Wartości  $f_{vvk}$  murów wykonanych na zaprawie zwykłej wg normy [12] służące do sprawdzenia nośności połączenia ścian**  
 Table 1. Values of  $f_{vvk}$  of masonry acc. to [12] code user to check of ULS joint of walls

Grupa elementu murowego	Wartości $f_{vvk}$ w zależności od $f_b$ <sup>1)</sup>				
	< 5	5	10	15	≥ 20
1 z wyjątkiem autoklawizowanego betonu komórkowego	nie stosuje się	0,7	0,9	1,0	1,1
2	0,1	0,2	0,3		0,4
3 i 4	0,1		0,2		
Autoklawizowany beton komórkowy		0,1 $f_k$ <sup>2)</sup>			

<sup>1)</sup>  $f_b$  – znormalizowana wytrzymałość na ściskanie elementu murowego; <sup>2)</sup>  $f_k$  – charakterystyczna wytrzymałość muru na ściskanie

wych i standardów prowadzenia badań doświadczalnych. Jedną z nielicznych prac, w której zaproponowano metodę prowadzenia badań doświadczalnych w celu wyznaczenia poszukiwanej wartości wytrzymałości muru na ścinanie w kierunku prostopadłym do spoin wspornych, jest publikacja [8], która posłużyła do sformułowania zapisów podanych w tabeli 1.

W przypadku połączenia ścian za pośrednictwem łączników wyliczone wielkości reakcji podporowych należy porównać z obliczeniową nośnością połączenia (deklarowaną przez producentów łączników). Gdy nośność jest przekroczona, należy zwiększyć liczbę łączników lub zastosować łączniki podwójne. Należy zwrócić uwagę, że poszukiwaną wartością jest nośność połączenia z łącznikiem, a nie nośność samego łącznika.

## Badania doświadczalne

Materiał badawczy dotyczący połączeń ścian jest bardzo skromny. Różnorodność stosowanych stanowisk badawczych i brak jednolitych procedur w zasadzie wyklucza porównanie uzyskanych wyników. Przedstawione w dalszej części artykułu wyniki badań traktować należy poglądowo i wyciąganie wniosków ilościowych może być nieuprawnione.

Dość dobrze udokumentowane badania ścian, w których symulowano połączenie ściany usztywniającej ze ścianą współpracującą, przedstawiono w pracy [1]. Z kolei w badaniach [2] badano wpływ wiązania ścian, na modelach ścian w kształcie litery H. Zbadano elementy bez wiązania oraz z pełnym wiązaniem murarskim wykonanych z pionowo drażonych betonowych elementów murowych.

Oprócz połączeń ścian za pomocą elementów murowych wykonano również badania połączeń ze zbrojeniem. Paganoni i D'Ayala [11] sprawdziły efektywność stalowych kotew do łączenia ścian. Teowy kształt elementu badawczego został zaprojektowany tak, aby maksymalnie odwzorować zachowanie się połączenia w rzeczywistej konstrukcji. Dość podobne testy przeprowadził Maddaloni z zespołem [9, 10]. Jednakże w tym wypadku oceniano skuteczność innowacyjnych zaciskowych kotew (prętów z włókna węglowego owiniętego podłużnie i spiralnie matą ze stali nierdzewnej). Przeprowadzone testy ukazały wysoką skuteczność obu metod połączeń.

Zastosowanie innowacyjnego łącznika z włókna węglowego podniosło wartość obciążeń wywołujących zarysowanie w połączeniu niemal dwukrotnie w stosunku do obciążenia rysującego połączenia bez łącznika i bez wiązania murarskiego. Niestety same wyniki badań łączników, a co za tym idzie ich efektywność trudne są do interpretacji, ze względu na brak odniesienia do wytrzymałości naroża z klasycznym murarskim przewiązaniem.

Warto także wspomnieć o badaniach brazylijskich [3], w których porównano nośności ścian połączonych na trzy różne sposoby. Rozpatrywano mur z przewiązaniem murarskim, stalową siatką zatopioną w spoinie wspornej oraz stalową kotwą. Badania wykazały, że połączenie elementami stalowymi było w stanie przejść 60% obciążenia uzyskanego w murze z klasycznym, murarskim przewiązaniem.

## Połączenia ścian za pomocą łączników

Łączniki, w zależności od potrzeb i przeznaczenia, mogą być sztywne lub pozwalać na przemieszczenia ścian względem siebie. Możliwe jest także zrealizowanie pełnego utwierdzenia ścian. Wtedy wymaga się, aby łączniki były zdolne do przeniesienia pary sił o odpowiedniej wartości. Wszelkiego rodzaju łączniki – kotwy, zbrojenie powinny być zgodne z wymaganiami norm PN-EN 845-1 [15] czy PN-EN 845-3 [16], zarówno w zakresie nośności, tolerancji wymiarowych, jak i zabezpieczeń antykorozyjnych. W tabeli 2 zestawiono stosowany w warunkach krajowych asortyment elementów do łączenia ścian.

**Tabela 2. Asortyment łączników stosowanych do połączeń ścian**  
Table 2. Assortment of connectors used for wall joints

Nazwa	Fotografia	Uwagi
Płaskownik otworowany		element służący do połączeń między ścianami z elementami o tym samym module wysokości; zastępuje przewiązania murarskie między ścianami; nadaje się do zapraw tradycyjnych lub klejowych
Płaskownik kręty		element zastępujący przewiązania murarskie w murach wznoszonych na cienkie spoiny
Kątownik otworowany		element do łączenia murów z konstrukcją żelbetową lub z istniejącym murem, a także do łączenia murów wykonanych z elementów o różnym module wysokości
Kątownik otworowany dwuramienny		element do łączenia murów z konstrukcją żelbetową lub z istniejącym murem, a także murów wykonanych z elementów o różnym module wysokości
Płaskownik otworowany dylatacyjny		odpowiednik płaskownika otworowanego, stosowany w miejscach, gdzie konieczne jest zachowanie dylatacji między łączonymi elementami
Kątownik otworowany dylatacyjny		odpowiednik kątownika otworowanego, stosowany w miejscach, gdzie konieczne jest zachowanie dylatacji między łączonymi elementami
Kątownik otworowany dwuramienny dylatacyjny		odpowiednik kątownika otworowanego dwuramiennego, stosowany w miejscach, gdzie konieczne jest zachowanie dylatacji między łączonymi elementami
Kratowniczy		prefabrykowane belki zbrojeniowe, składające się z dwóch równoległych płaskowników połączonych ze sobą za pomocą drutu, wygiętego sinusoidalnie

## Podsumowanie i propozycje badań doświadczalnych

Problematyka połączeń i wzajemnej współpracy ścian jest ewidentnie marginalizowana i słabo rozeznana. Nie ma standardów dotyczących wyznaczania wielkości sił wewnętrznych działających w miejscu krzyżujących się ścian. Nieliczne badania nie pozwalają opisać mechanizmu pracy połączenia, a tym bardziej sformułować wytycznych projektowania i konstruowania. Projektanci nie dysponują więc żadnymi danymi wejściowymi, z których mogliby korzystać przy spraw-

dzaniu nośności połączenia, szczególnie kiedy stosowane są łączniki, ale także gdy stosuje się tradycyjne wiązanie murarskie. Dotyczy to przede wszystkim ścian wykonywanych w nowoczesnych technologiach ze spoinami cienkowarstwowymi i niewypełnionymi spoinami czołowymi (np. murów z ABK). W związku z tym, przy wyraźnym widocznym braku odpowiednich badań i wytycznych projektowania, sformułowano ogólne cele badań własnych sprowadzające się do:

- rozpoznania mechanizmu zarysowania i zniszczenia połączenia ścian wykonanych z aktualnie najpowszechniej stosowanych w kraju elementów murowych wykonywanych z autoklawizowanego betonu komórkowego;

- porównania nośności połączeń ścian z zastosowaniem tradycyjnego wiązania murarskiego oraz stalowych łączników.

## Literatura

- [1] Capuzzo Valentim Neto, Marcio Roberto Silva Correa, Marcio Antonio Ramalho. 2008. *Distribution of vertical loads between interconnected masonry walls with and without a top slab*. 14<sup>th</sup> International Brick & Block Masonry Conference – IBMac, Sydney (CD-ROM).
- [2] Castro Lucas Oliveira, Rita Cassia Alvarenga, Roberto Marco Silva, Jose Carlos Lopes Ribeiro. 2016. *Experimental evaluation of the interaction between strength concrete block walls under vertical loads*. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais Vol. 9, No. 5 (CD-ROM).
- [3] Corrêa Marcio Roberto Silva, Elian Marcos Silva Moreira, Marcio Antonio Ramalho. 2009. *Experimental small-scale analysis of the connections between structural clay block work masonry walls submitted to vertical loads*. 11th Canadian Masonry Symposium, Toronto (CD-ROM).
- [4] СНиП II-22-81:2000 Каминные и артокаминные конструкции.
- [5] Drobiec Łukasz, Radosław Jasiński, Adam Piekarczyk. 2014. *Konstrukcje murowe. Według Eurokodu 6 i norm związanych*. Tom 2. Warszawa. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- [6] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (Dz. Urz. UE L 153 z 18.06.2010, str. 13).
- [7] ENV-1996-1-1:2002, Eurocode 6: Design of Masonry Structures. Part 1-1: Common Rules for Reinforced and Unreinforced Masonry Structures. CEN / TC 250, March 2003.
- [8] Kubica Jan. 2003. *Niezbrojone ściany murowe poddane odkształceniom postaciowym wywołanym nierównomiernymi pionowymi przemieszczeniami podłoża*. Gliwice. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- [9] Maddaloni Giuseppe, Albert Balsamo, Marco Di Ludovico, Andrea Prota. 2016. *Out of Plane Experimental Behavior of T-Shaped Full Scale Masonry Orthogonal Walls Strengthened with Innovative Composite Systems*. Fourth International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, Las Vegas (CD-ROM).
- [10] Maddaloni Giuseppe, Marco Di Ludovico, Albert Balsamo, Andrea Prota. 2016. *Out-of-plane experimental behaviour of T-shaped full scale masonry wall strengthened with composite connections*. Composites Part B 93, s. 328 – 343.
- [11] Paganoni Sara, Dina D'Ayala. 2014. „Testing and design procedure for corner connections of masonry heritage buildings strengthened by metallic grouted anchors”. *Engineering Structures* 70: 278 – 293.
- [12] PN-EN 1996-1-1+A1:2013-05P, Eurokod 6: Projektowanie konstrukcji murowych. Część 1-1: Reguły ogólne dla niezbrojonych i zbrojonych konstrukcji murowych.
- [13] PN-B-03002:2007: Konstrukcje murowe niezbrojone. Projektowanie i obliczanie.
- [14] PN-B-03340:1999/Az1: Konstrukcje murowe zbrojone. Projektowanie i obliczanie.
- [15] PN-EN 845-1:2008 Specyfikacja wyrobów dodatkowych do murów. Część 1: Kotwy, listwy kotwiące, wieszaki i wsporniki.
- [16] PN-EN 845-3:2008 Specyfikacja wyrobów dodatkowych do murów. Część 3: Stalowe zbrojenie do spoin wspornych.
- [17] PN-EN 1996-1-2:2010/NA:2010P: Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 1-2: Reguły ogólne. Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe.

Przyjęto do druku: 24.06.2017 r.