

O zastosowaniu dwukierunkowo zbrojonych murowanych ścian wypełniających w budynku wysokościowym

Budynki wysokie i wysokościowe wznosi się obecnie najczęściej o konstrukcji żelbetowej, płytowo-słupowe z trzonami zapewniającymi sztywność przestrzenną. W takich budynkach pomieszczenia wydziela się za pomocą murowanych ścian wypełniających. Pojęcie ścian wypełniających nie jest określone w przepisach normowych. Termin ten jest jednak często stosowany w publikacjach naukowych i naukowo-technicznych oraz w wytycznych projektowania opracowywanych przez producentów elementów murowych [6, 7]. Projekty architektoniczne narzucają z reguły ostre wymagania dotyczące smukłości ścian wypełniających. Konstruktor staje wówczas przed wyzwaniem prawidłowego zaprojektowania takich ścian. W artykule opisano problemy projektowania i wykonania ścian w jednym z budynków wysokościowych w Warszawie.

Specyfika ścian wypełniających

Norma PN-EN 1996-1-1 [14] z pakietu norm Eurokodu 6 dzieli ściany ze względu na pełnione funkcje na konstrukcyjne i niekonstrukcyjne. Ściana konstrukcyjna to ściana przewidziana do przenoszenia dodatkowego obciążenia ponad ciężar własny, a ściana niekonstrukcyjna to ściana nieprzenosząca obciążeń dodatkowych, którą można usunąć, gdyż nie wpływa na nośność całej konstrukcji budynku. Ściany wypełniające, choć utożsamiane ze ścianami działowymi, mogą być poddane obciążeniom użytkowemu (zgodnie z p. 6.4 normy PN-EN 1991-1-1 [13]), ciężarem urządzeń zawieszonych na nich, a w wypadku ścian pełniących funkcje oddzielenia pożarowego i wydzielających strefy pożarowe w budynku norma PN-EN 1996-1-2 [15] nakazuje spełnienie kryterium odporności ogniowej z uwagi na oddziaływanie mechaniczne. Ściany wypełniające w większości wypadków są więc ścianami konstrukcyjnymi zgodnie z definicją podaną w Eurokodzie 6. Ściany konstrukcyjne norma PN-EN 1996-1-1 [14] zaleca sprawdzać obliczeniowo (projektować) lub ich wymiary przyjmować na podstawie wykresów zamieszczonych w załączniku F [8].

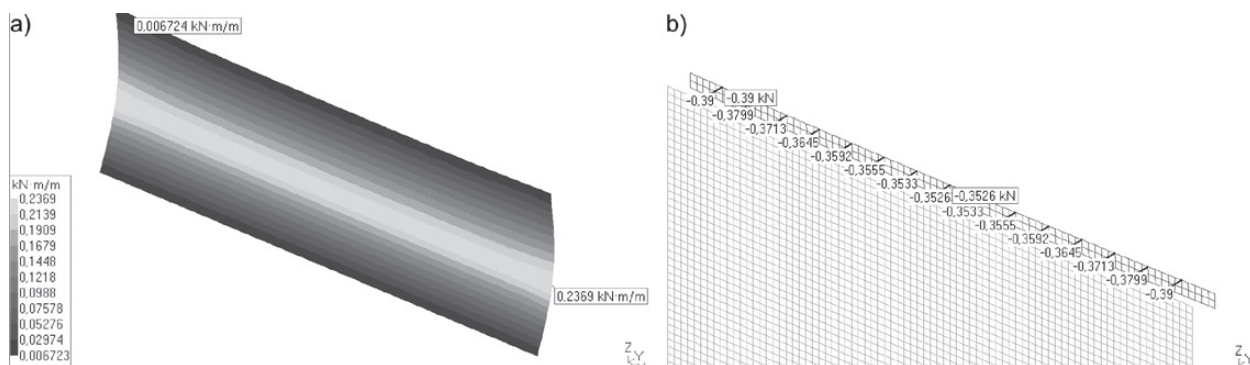
Projektowanie ścian wypełniających w budynku wysokościowym

W budynku wysokościowym w Warszawie projekt architektoniczny przewidywał zastosowanie ścian z bloczków silikato-

wych grubości 80, 120, 150, 180 i 240 mm. Powierzchnia tych ścian wynosiła odpowiednio 26 500, 1700, 2200, 12 000 i 5000 m², a długości ścian pomiędzy dylatacjami przyjęto zgodnie z PN-EN 1996-2 [16] równe 8,0 m. Ściany zaprojektowano z elementów silikatowych na cienkiej spoinie, z wypełnionymi spoinami pionowymi.

Siły wewnętrzne w ścianach wyznaczono, wykorzystując program bazujący na metodzie elementów skończonych, który umożliwia przestrzenną analizę konstrukcji. Analizowano momenty zginające (rys. 1a) oraz siły w podporach (rys. 1b), które w projektowanych ścianach wypełniających przyjęto w postaci metalowych łączników. Nośność ścian zginanych z płaszczyzny sprawdzono zgodnie z algorytmem zamieszczonym w pracy [3]. Wartości wytrzymałości muru na zginanie w płaszczyznach prostopadłych i równoległych do spoin wspornych przyjęto na podstawie wyników badań prowadzonych na Politechnice Śląskiej na materiale producenta elementów murowych, stosowanym przez wykonawcę ścian. Wyniki tych badań opublikowano w pracy [5]. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że nie jest spełniona obliczeniowa nośność na zginanie z płaszczyzny ścian grubości 80 mm, szczególnie w strefach komunikacji, gdzie obciążenia użytkowe zgodnie z PN-EN 1991-1-1 [13] są duże. Architekt budynku nie wyraził zgody na zwiększenie grubości ścian, a w związku z tym zaistniała konieczność ich wzmocnienia. Zdecydowano się na zastosowanie pionowego zbrojenia w murze. Tradycja stosowania zbrojenia pionowego i poziomego sięga w kraju lat trzydziestych XX wieku. Wówczas prowadzono liczne badania murów zbrojonych podłużnie i poprzecznie [1, 2]. W połowie lat pięćdziesiątych powstała nawet norma [12], której zalecenia przetrwały w kolejnych jej edycjach, aż do 1989 r. [10, 11]. W latach siedemdziesiątych XX wieku stopniowo zaprzestawano jednak stosowania zbrojenia w murach [9] i obecnie takie konstrukcje wykonuje się rzadko, a murów zbrojonych pionowo w naszym kraju w ogóle się nie wykonuje.

Pionowe zbrojenie ścian wypełniających obliczono zgodnie z algorytmem zamieszczonym w pracy [4]. Na podstawie otrzymanych wyników przyjęto w ścianach pręty pionowe średnicy 10 mm ze stali klasy A-IIIIN, rozstawione co 2,0 m. Z uwagi na

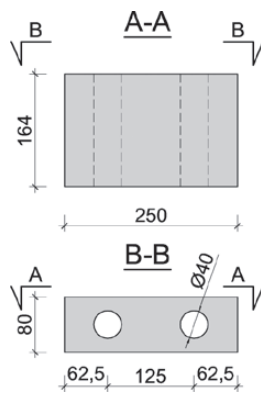


Rys. 1. Wyniki analizy ścian wypełniających: a) momenty zginające, b) siły w łącznikach

znaczące ugięcia stropów rozpiętości 7,6 i 9,6 m zaprojektowano dodatkowo zbrojenie poziome ścian wypełniających w trzech dolnych spoinach wspornych.

Konstrukcja ścian wypełniających

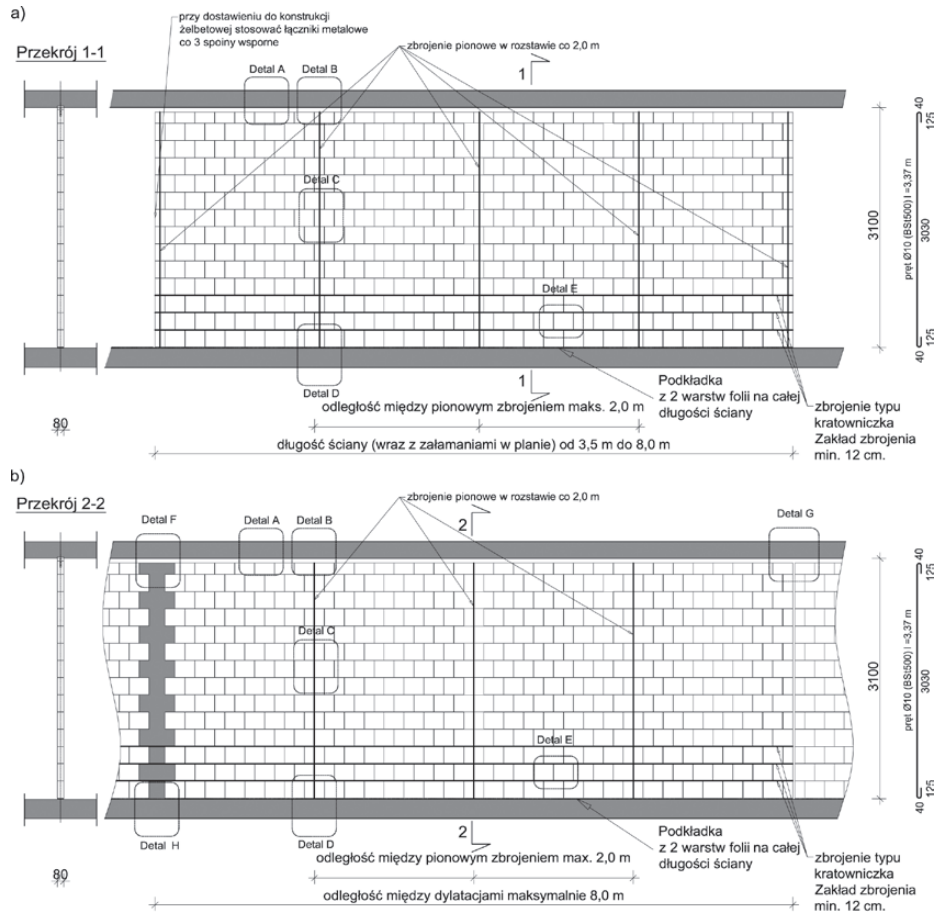
Umieszczenie zbrojenia pionowego w murze wymagało zastosowania specjalnych elementów murowych, których dźwignia tworzyłyby w ścianie pionowy kanał. Ponieważ dostawca materiału nie dysponował takimi elementami, zostały one zaprojektowane i wyprodukowane. Wymiary i kształt elementów murowych pokazano na rys. 2. Przyjęto klasę ekspozycji MX1 i minimalne otulenie pręta zbrojeniowego równe 15 mm – zgodnie z PN-EN 1996-1-1 [14].



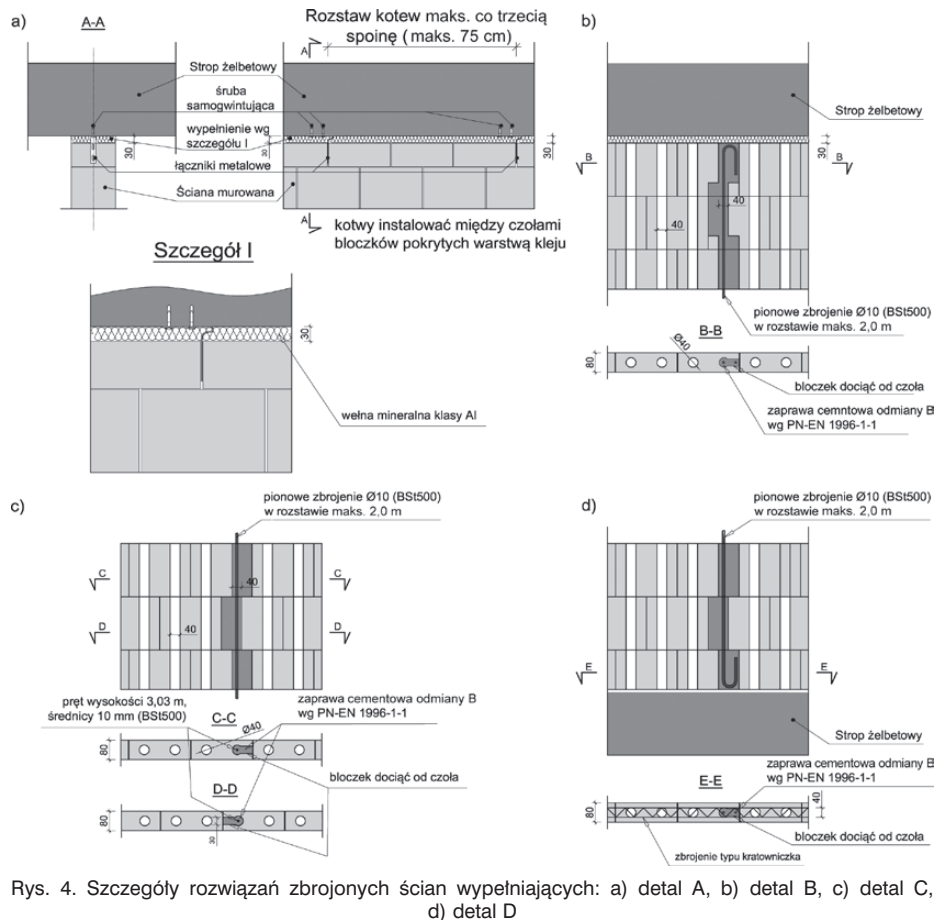
Rys. 2. Element murowy przystosowany do przeprowadzenia zbrojenia pionowego w murze

Przyjęto, że zbrojenie zostanie umieszczone w zaprawie wypełniającej pionowy kanał utworzony w murze. Jako wypełnienie kanału przewidziano zaprawę cementową odmiany B według PN-EN 1996-1-1 [14], z kruszywem o uziarnieniu do 10 mm. Na końcach prętów, w celu ich należytego zakotwienia w zaprawie, zaprojektowano pętle. Ściany mniej obciążone, zlokalizowane w mieszkaniach, zaprojektowano jako podparte na dwóch krawędziach, z pionowymi krawędziami swobodnymi, natomiast ściany wzdłuż traktów komunikacyjnych – jako podparte na dwóch lub trzech krawędziach. Zaprojektowane ściany pokazano na rys. 3.

Podparcie obu rodzajów ścian na górnej krawędzi zaprojektowano w postaci metalowych łączników, umieszczanych w spoinach pionowych i kotwionych samogwintującymi śrubami do stropu (rys. 4a). Rozstaw łączników przyjęto na podstawie wyników obliczeń statycznych. Zaprojektowane łączniki umożliwiają kompensację ugięć stropu do 20 mm. Dzięki zastosowaniu 30-milimetrowej szczeliny między ścianą a stropem nie będzie wywierane dodatkowe dociążenie ściany spowodowane oddziaływaniem uginającego się stropu. Szczegół



Rys. 3. Zaprojektowane zbrojone ściany wypełniające: a) ściana podparta na dwóch krawędziach, b) ściana podparta na trzech krawędziach



Rys. 4. Szczegóły rozwiązań zbrojonych ścian wypełniających: a) detal A, b) detal B, c) detal C, d) detal D

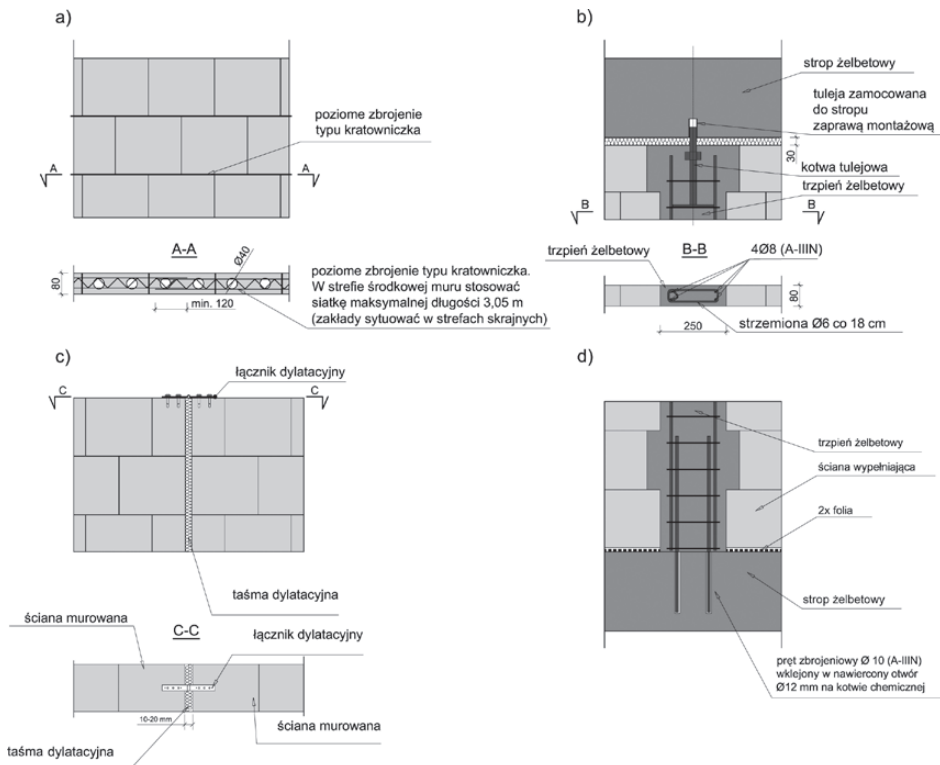
góry prowadzenia prętów zbrojenia pionowego w kanałach muru pokazano na rys. 4b÷4d. Na rysunkach 4d i 5a pokazano też sposób przeprowadzania zbrojenia poziomego, które zaprojektowano w postaci systemowych kratownic. W dylatacji, na styku dwóch ścian zaprojektowano górą metalowe łączniki dylatacyjne (rys. 5c).

Wymiary i zbrojenie żelbetowego rdzenia stanowiącego pionową podporę ścian przyjęto zgodnie z normą PN-EN 1996-1-1 [14]. Przewidziano, że rdzeń te będą zakotwione w stropie przez wklejenie prętów startowych na kotwie chemicznej (rys. 5d). Od góry, w celu zapewnienia możliwości wystąpienia ugięć stropu zbudowanego wyżej, rdzeń przyjęto zakończyć 30 mm poniżej dolnej powierzchni stropu i połączyć go z tym stropem przez specjalną kotwę i tuleję osadzoną w stropie (rys. 5b). Aby umożliwić wystąpienie odkształceń skurczowych muru (przed wbudowaniem rdzenia) oraz w celu zapewnienia możliwości ewentualnego odspojenia się muru od uginającego się stropu zaprojektowano ułożenie pod ścianą dwóch warstw folii (rys. 5d).

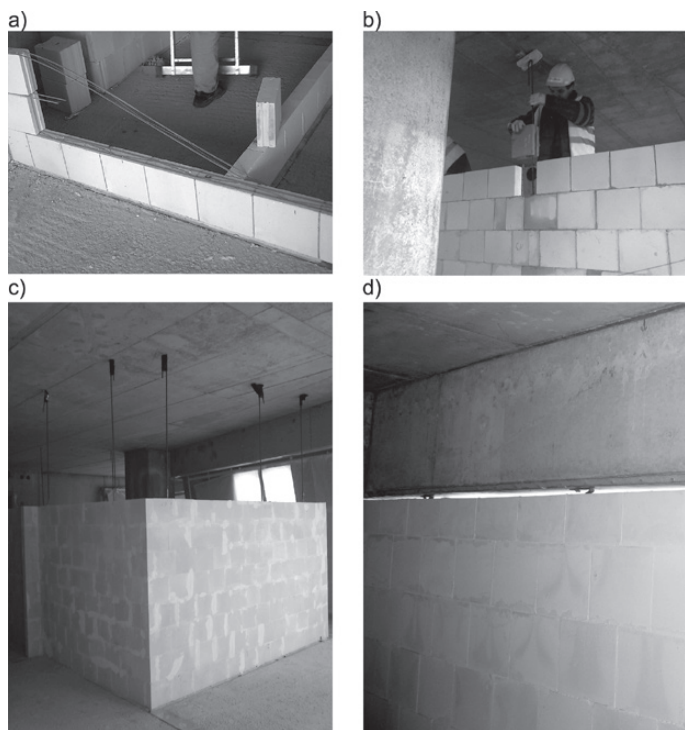
Wykonanie ścian wypełniających

Podczas wykonywania zaprojektowanych zbrojonych ścian należało zwrócić szczególną uwagę na zachowanie odpowiednich zakładów zbrojenia poziomego (rys. 6a). Zbrojenie pionowe układano w pierwszej warstwie muru i podczas wznoszenia pionowano oraz tymczasowo stabilizowano, stosując przekładki między zbrojeniem i górnym stropem (rys. 6b). Wmurowanie

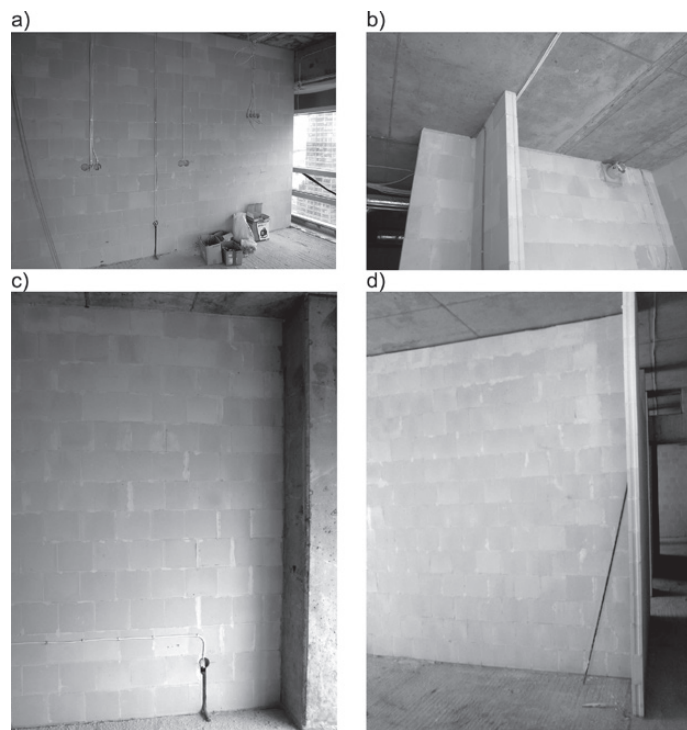
blozków przy tym zbrojeniu wymagało wycięcia bruzdy w bocznej płaszczyźnie bloczka, aż do drażnienia pionowego. Wykonanie bruzd umożliwiło również zastosowanie zakotwienia prętów w postaci pętli (por. rys. 4b i 4d). Na rysunku 6c pokazano częściowo wymurowaną ścianę z wystającym zbrojeniem pionowym, a na rys. 6d – sposób połączenia ścian ze stropem górnym metalowymi łącznikami. Widok wzniesionych ścian przedstawiono na rys. 7.



Rys. 5. Szczegóły rozwiązań zbrojonych ścian wypełniających: a) detal E, b) detal F, c) detal G, d) detal H



Rys. 6. Wykonywanie ścian: a) zbrojenie poziome, b) murowanie bloczków wokół zbrojenia pionowego, c) ściana częściowo wymurowana, d) połączenie ściany z górnym stropem



Rys. 7. Widok ścian nieotynkowanych

Podsumowanie

W artykule opisano problemy związane z projektowaniem i wykonaniem ścian wypełniających w budynku wysokościowym. Z uwagi na przyjęte założenia architektoniczne oraz związane z tym obciążenia, konieczne było zaprojektowanie ścian w postaci murów ze zbrojeniem pionowym i poziomym. Tego rodzaju rozwiązań w naszym kraju obecnie nie stosuje się, lecz w omawianym przypadku była to jedyna gwarancja spełnienia warunków stanu granicznego nośności cienkiej murowanej ściany.

PIŚMIENNICTWO

- [1] *Adamski W.*: Mury zbrojone. „Inżynieria i Budownictwo”, nr 3/1949.
- [2] *Danielecki W.*: Konstrukcje zespolone murowe zbrojone i ceglano-żelbetowe. Budownictwo i Architektura, Warszawa 1954.
- [3] *Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A.*: Konstrukcje murowe według Eurokodu 6 i norm związanych, tom 1. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.
- [4] *Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A.*: Konstrukcje murowe według Eurokodu 6 i norm związanych, tom 3. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2017.
- [5] *Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A.*: Właściwości murów z elementów silikatowych produkowanych w Polsce. Część III: Wytrzymałość muru na zginanie. „Przegląd Budowlany”, nr 10/2013.
- [6] *Drobiec Ł., Misiewicz L.*: Ściany wypełniające – zastosowanie, zalety i wady. „Materiały Budowlane”, nr 4/2014.
- [7] *Drobiec Ł.*: Problemy projektowania ścian wypełniających i osłonowych wg EC-6. „Materiały Budowlane”, nr 1/2012.
- [8] *Jasiński R.*: Kształtowanie i wykonawstwo ścian wypełniających. Akademia Solbet. Ściany wypełniające. Projektowanie i wykonawstwo. Solbet Sp. z o.o., Solec Kujawski 2014.
- [9] *Lewicki B., Bielawski J., Sieczkowski J.*: Budynki murowane. Zasady projektowania z przykładami obliczeń. COBPBO, Warszawa 1993.
- [10] *Lewicki B.*: Wyjaśnienia dotyczące norm PN-84/B-03264 i PN-87/B-03002. „Inżynieria i Budownictwo”, nr 12/1989.
- [11] PN-B-03002:1987 Konstrukcje murowe – Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [12] PN-B-03005:1955 Konstrukcje murowe z cegły ze zbrojeniem stalowym – Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [13] PN-EN 1991-1-1:2004/NA:2010 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 1-1: Oddziaływania ogólne – Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.
- [14] PN-EN 1996-1-1+A1:2013 Eurokod 6 Projektowanie konstrukcji murowych – Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.
- [15] PN-EN 1996-1-2:2010 Eurokod 6 Projektowanie konstrukcji murowych – Część 1-2: Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe.
- [16] PN-EN 1996-2:2010+NA:2010+Ap1:2010 Eurokod 6 Projektowanie konstrukcji murowych – Część 2: Wymagania projektowe, dobór materiałów i wykonanie murów.