ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2002
Seria: BUDOWNICTWO z. 95 Nr kol.1559

Łukasz DROBIEC*
Politechnika Śląska

BADANIA ŚCISKANYCH MUROWANYCH ŚCIAN ZBROJONYCH POPRZECZNIE SIATKAMI

Streszczenie. W artykule przedstawiono badania ściskanych murowanych ścian zbrojonych poprzecznie siatkami. Badania prowadzono na elementach badawczych wykonanych z cegły pełnej klasy 20 i zaprawy cementowo-wapiennej o stosunku cementu, wapna i piasku 1 : 1 : 6. Jako zbrojenie wykorzystano dwa typy siatek: plecione i zgrzewane. Stosowano dwa procenty zbrojenia: około 0,1% i 0,05%. Dla każdego typu zbrojenia wykonano po trzy elementy badawcze. Oprócz elementów badawczych zbrojonych wykonano również 9 elementów niezbrojonych. Porównanie otrzymanych wyników elementów zbrojonych i niezbrojonych pozwoliło na określenie wpływu zbrojenia na wytrzymałość, odkształcalność i rysoodporność muru.

INVESTIGATIONS OF COMPRESSED MASONRY WITH WIRE MESH BED JOINT REINFORCEMENT

Summary. Results of the tests on compressed reinforced masonry with wire mesh bed joint reinforcement are presented in this paper. Investigations were made on test specimens, which were executed from clay brick and cement-lime mortar. As reinforcement two types of structural wire mesh: woven wire mesh and welded wire mesh were used. There were employ 2 percentage of the reinforcements: about 0,1% and 0,05%. There were used 3 masonry specimens for every reinforcements type. Besides 9 un-reinforced models were executed. The comparison of the forthcoming results of reinforced and un-reinforced models, let on defining the reinforcements influence on the masonry's strength, deformation ability and scratch resistance.

1. Wprowadzenie

Zbrojenie muru w postaci siatek układanych w spoinach wspornych stosuje się od ponad 100 lat. Dotychczas siatki wykorzystywano głównie do zbrojenia elementów o małym przekroju poprzecznym, jak słupy i filary międzyokienne. Przeprowadzone w latach

* Opiekun naukowy: Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Starosolski

międzywojennych w Polsce i w Związku Radzieckim obszerne badania [1, 2, 3] nośności słupów zbrojonych siatkami pozwoliło na wprowadzenie do ówczesnych norm wytycznych odnośnie do sposobu zbrojenia i metodologii obliczania tego typu elementów. Późniejsze badania przeprowadzone w krajach Europy Zachodniej [4, 5, 6, 7] potwierdziły dużą skuteczność siatek w zakresie zwiększenia nośności i rysoodporności zbrojonych murowanych słupów.

Obecnie siatki zbrojeniowe układane w spoinach wspornych stosuje się coraz częściej profilaktycznie w celu ograniczenia zarysowania [8, 9, 10], ograniczenia spodziewanych efektów oddziaływań sejsmicznych i parasejsmicznych [11] oraz polepszenia właściwości mechanicznych muru [10]. Zbrojenie to znajduje się więc często w ścianach, czyli elementach o dużym przekroju poprzecznym, obciążonych głównie pionowo. Niestety, badania ściskanych ścian ze zbrojeniem umieszczonym w spoinach wspornych stanowią jedynie niewielki procent w stosunku do liczby badań elementów ściskanych niezbrojonych.

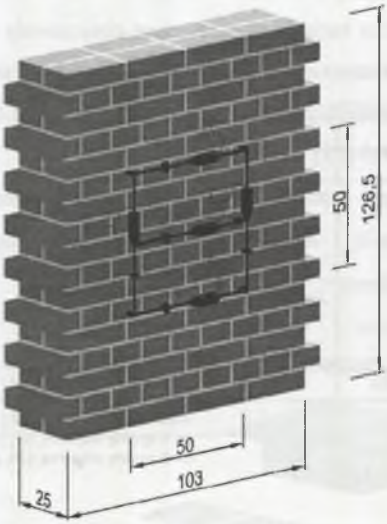
W referacie przedstawiono badania ściskanych odcinków ścian zbrojonych siatkami. Zastosowano 2 typy siatek: plecione z prętów $\phi 4$ mm i zgrzewane z prętów $\phi 1{,}2$ mm. Dla każdego typu zbrojenia wykonano dwie serie po trzy elementy badawcze w każdej, o procentach zbrojenia około 0,1% i 0,05%. Uzyskane wyniki porównano z wynikami badań modeli niezbrojonych. Określono wpływ zbrojenia na nośność, odkształcalność i rysoodporność muru. Za pomocą pomiarów tensometrycznych porównano odkształcenia prętów poprzecznych i podłużnych siatek zbrojeniowych.

Niniejsza praca jest kontynuacją artykułów [12, 13], gdzie opisano badania ściskanych murów zbrojonych podłużnymi prętami gładkimi i spiralnymi. W celu łatwiejszego porównania wyników prezentowanych badań z wynikami uprzednio publikowanymi seriom badawczym zdecydowano się nadać oznaczenia kolejnych liter alfabetu. Stąd w niniejszej pracy serie badawcze ze zbrojeniem w postaci siatek plecionych oznaczono symbolem D, zaś modele zbrojone siatkami zgrzewanymi E. Elementy badawcze niezbrojone podobnie jak w artykułach poprzednich oznaczono symbolem A.

2. Opis elementów badawczych i sposób prowadzenia badań

Badania prowadzono na elementach badawczych o wymiarach 126,5 × 103 × 25 cm (rys. 1). Wszystkie elementy wykonane zostały z cegły pełnej klasy 20 na zaprawie

cementowo-wapiennej w proporcji cementu, wapna i piasku 1 : 1 : 6. Badania obejmowały serię 9 murów niezbrojonych oznaczoną symbolem A oraz 12 modeli zbrojonych siatami plecionymi i zgrzewanymi (po 3 elementy badawcze w każdej serii). Stosowano dwa procenty zbrojenia: około 0,1% i około 0,05%.



Rys. 1. Element badawczy
Fig. 1. Investigative element

Stosowano dwa typy siatek: siatkę plecioną ze stali nierdzewnej o średnicy prętów ϕ 4 mm i oczku siatki 40 x 40 mm oraz siatkę zgrzewaną ze stali zwykłej, cynkowaną ogniowo, o średnicy prętów ϕ 1,2 mm i oczku siatki 12 x 12 mm. Serię elementów z siatkami plecionymi z prętów ϕ 4 mm oznaczono symbolem D (DI – procent zbrojenia 0,05% i DII – procent zbrojenia 0,1%), natomiast elementy badawcze z siatkami zgrzewanymi z prętów ϕ 1,2 oznaczono symbolem E (EI – procent zbrojenia 0,05% i EII – procent zbrojenia 0,1%).

W celu dostatecznego zakotwienia na końcach siatek plecionych z prętów ϕ 4 mm przyspawano płaskownik 6×20×220 mm, a końce siatek zgrzewanych z prętów ϕ 1,2 mm połączono z prętem ϕ 6 mm.

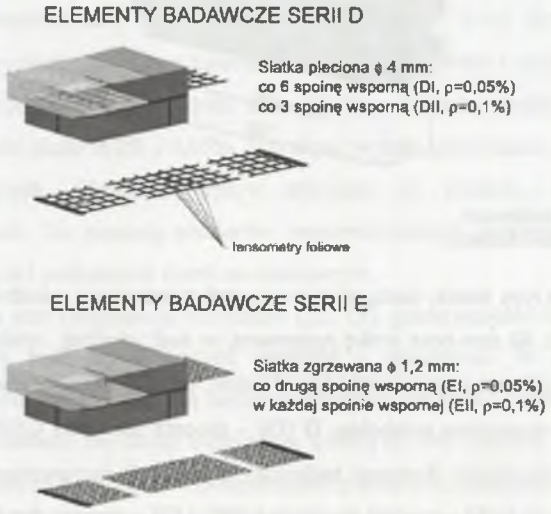
Wszystkie elementy badawcze obciążano doraźnie pionowym obciążeniem równomiernie rozłożonym, w jednym cyklu, aż do zniszczenia. Odczyt siły i przemieszczeń prowadzono co 150 kN za pomocą siłomierza i czujników indukcyjnych. W modelach zbrojonych siatkami plecionymi (serie DI i DII) dokonywano ponadto pomiaru odkształceń prętów zbrojeniowych

za pomocą tensometrów foliowych naklejanych w środku ich długości. Zbyt mała średnica prętów w modelach serii E uniemożliwiała skuteczny pomiar tensometryczny odkształceń siatki w murze.

Rozmieszczenie czujników indukcyjnych na elemencie badawczym pokazano na rys. 1, zaś typy zbrojenia wraz z miejscami pomiarów tensometrycznych pokazano na rys. 2.

Równolegle prowadzone badania towarzyszące obejmowały wyznaczenie wytrzymałości na ściskanie oraz zginanie zaprawy na próbkach prostopadłościennych wg zaleceń normy EN 1015 [14] oraz oznaczenie wytrzymałości na ściskanie cegły na całych elementach murowych wg normy PrEN 772-1:1995 [15].

Zgodnie z zaleceniami normy EN 1052-1 [16] wykonano dodatkowo oznaczenie wytrzymałości na ściskanie i modułu sprężystości muru na 6 elementach próbnych o wymiarach 66,5 × 51 × 12 cm.



Rys. 2. Typy zbrojenia
Fig. 2. Type of reinforcement

3. Wyniki badań materiałowych

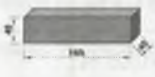
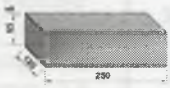
Wartości wytrzymałości na ściskanie i zginanie zaprawy oraz wytrzymałości na ściskanie cegły zestawiono w tablicy 1. Wytrzymałość na ściskanie zaprawy wyniosła 7,2 kN/mm^2, a

wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu 2,4 kN/mm^2. Wytrzymałość na ściskanie cegły badana na całych elementach badawczych wyniosła 69,7 MPa i była znacznie większa od deklarowanej przez producenta.

W tablicy 2 zestawiono uśrednione wyniki otrzymane z badań elementów próbnych muru. Doraźny moduł sprężystości wyznaczono zgodnie z normą [16] z przedziału naprężeń ściskających $\sigma=0 \div \sigma=0{,}33$ f.

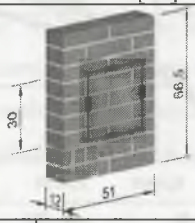
Tablica 1

Wyniki badań materiałowych zaprawy i cegły

Wyznaczana wartość	ZAPRAWA		CEGŁA	
	EN 1015 [14]		PrEN 772-1 [15]	
				
	wartość	współczynnik zmienności [%]	wartość	współczynnik zmienności [%]
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	7,2	6,6	69,7	3,8
Wytrzymałość na zginanie [MPa]	2,4	5,5	-	-

Tablica 2

Badania wytrzymałości na ściskanie i modułu sprężystości muru

Wyznaczana wartość	ELEMENTY PRÓBNE MURU	
	EN 1052-1 [16]	
		
	wartość	współczynnik zmienności [%]
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	15,4	6,9
Moduł sprężystości [MPa]	12 135	9,4
Współczynnik Poissona	0,23	6,8

4. Wyniki badań modeli badawczych

W tabeli 3 zestawiono średnie wartości wytrzymałości na ściskanie, modułu sprężystości i współczynnika Poissona uzyskane z badań modeli poszczególnych serii. Wytrzymałość na

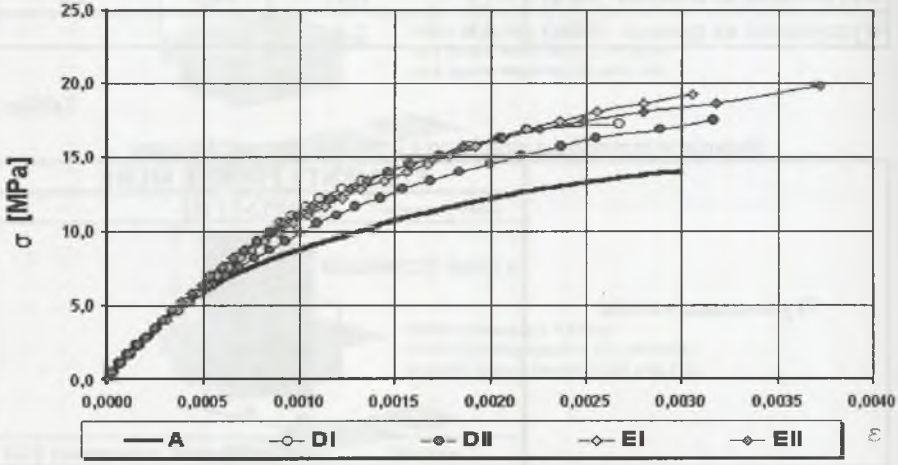
ściskanie elementów badawczych niezbrojonych wynosi 14,08 MPa i jest o 10% mniejsza od wytrzymałości normowych elementów próbnych muru (tablica 2).

Uśrednione zależności σ-ε dla modeli poszczególnych serii pokazano na rys. 3.

Tabela 3

Wartości wytrzymałości na ściskanie, modułu sprężystości i współczynnika Poissona

	Rodzaj siatki zbrojeniowej	Procent zbrojenia [%]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Moduł sprężystości [MPa]	Współcz. Poissona
A	-	-	14,08	13910	0,21
DI	pleciona ϕ 4 mm	około 0,05 %	17,30	12470	0,15
DII	pleciona ϕ 4 mm	około 0,1 %	17,53	12180	0,15
EI	zgrzewana ϕ 1,2 mm	około 0,05 %	19,22	12420	0,13
EII	zgrzewana ϕ 1,2 mm	około 0,1 %	19,83	13640	0,13



Rys. 3. Uśredniona zależność σ-ε dla modeli poszczególnych serii
Fig. 3. Average σ-ε relationship for models of each series

5. Analiza wyników badań

Z pokazanego na rys. 3 wykresu widać, że przebieg zależności σ-ε był nieco inny dla modeli zbrojonych i niezbrojonych. Odkształcenia pionowe muru niezbrojonego w momencie zniszczenia były dwukrotnie większe niż muru zbrojonego przy podobnym poziomie

naprężeń. Większe odkształcenia przy zniszczeniu wykazały mury o większym stopniu zbrojenia, jednakże końcowa wartość odkształcenia pionowego przy zniszczeniu murów zbrojonych była porównywalna z odkształceniem przy zniszczeniu murów niezbrojonych. Wynika stąd, iż zbrojenie spowodowało zmniejszenie odkształceń pionowych muru, a co za tym idzie zwiększenie modułu sprężystości muru. Pokazane w tablicy 3 wartości modułu sprężystości nie odzwierciedlają tego wzrostu, gdyż wyznaczone zostały przy poziomie naprężeń równym 1/3 naprężenia niszczącego, czyli w fazie gdy wszystkie krzywe miały jeszcze podobny przebieg (rys. 3).

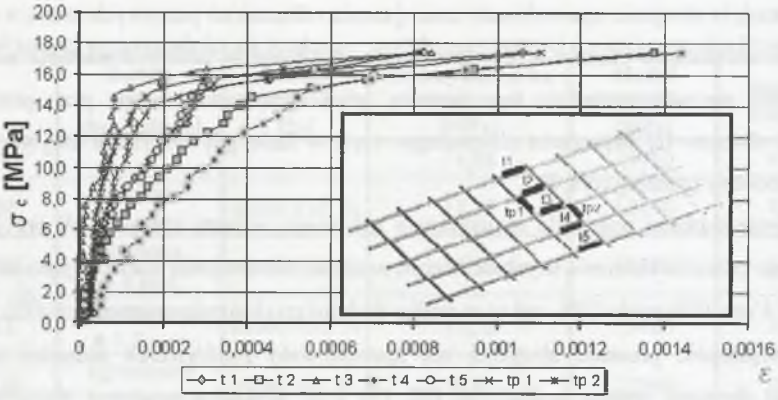
Zbrojenie siatkami pozwoliło na uzyskanie znacznego wzrostu nośności. W przypadku mniejszego procentu zbrojenia uzyskano wzrost nośności dla zbrojenia siatkami plecionymi z prętów ϕ 4 mm (DI) rzędu 23%, zaś w wypadku drobniejszych siatek zgrzewanych (EI) rzędu 37%. Zwiększenie procentu zbrojenia nie spowodowało zmniejszenia nośności jak w przypadku zbrojenia prętami podłużnymi [12, 13]. Przy większym procencie zbrojenia dla murów zbrojonych siatkami z prętów ϕ 4 mm (DII) odnotowano wzrost nośności o 25% w porównaniu do murów niezbrojonych, a przy zbrojeniu siatkami z prętów ϕ 1,2 mm (EII) o 41%. Zbrojenie siatkami okazało się więc znacznie efektywniejsze w porównaniu do zbrojenia prętami podłużnymi, gdzie wzrost nośności był nieznaczny [12, 13]. Warto jednakże zauważyć, że przy dwukrotnym zwiększeniu pola powierzchni stali zbrojeniowej w elementach zbrojonych siatkami wzrost nośności muru był niewielki.

Elementy badawcze zbrojone siatkami niszczyły się w sposób tradycyjny poprzez wydzielenie pionowych słupków. Sposób zniszczenia był identyczny jak modeli niezbrojonych. Zbrojenie poprzeczne siatek wyeliminowało niekorzystny sposób zniszczenia, obserwowany w murach ze zbrojeniem podłużnym, gdzie zarysowanie przebiegało wzdłuż podłużnej spoiny wewnętrznej [12, 13].

W elementach badawczych serii D zniszczenie następowało poprzez miażdżenie stref zakotwień zbrojenia i zarysowanie pionowe w płaszczyźnie zakotwienia. W modelach serii E zniszczenie następowało w momencie zerwania zbrojenia (prętów podłużnych siatki) w rysie pionowej.

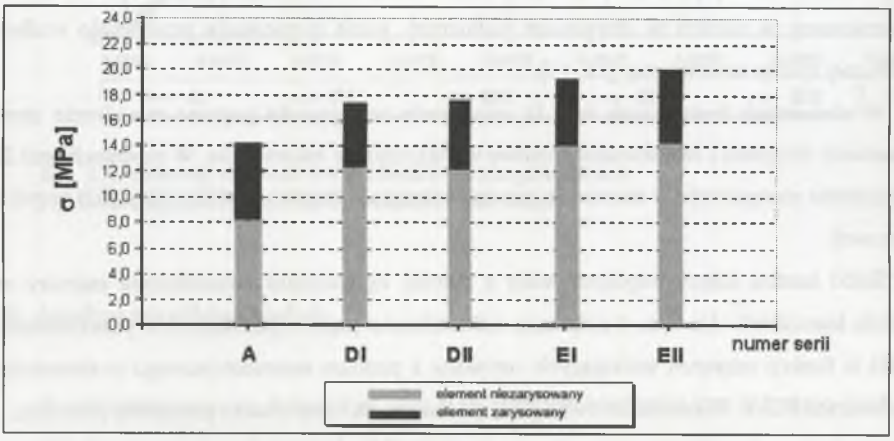
Siatki bardzo dobrze współpracowały z murem, ograniczając odkształcenia zaprawy w dwóch kierunkach. Na rys. 4 pokazano odkształcenia prętów podłużnych i poprzecznych siatki w funkcji naprężeń ściskających, uzyskane z pomiaru tensometrycznego w elemencie badawczym DII-1. Widać, że zarówno pręty podłużne, jak i poprzeczne pracowały podobnie.

Największe odkształcenia wykazały pręty podłużne ułożone w osi cegieł warstwy wozówkowej. Najmniejsze odkształcenia notował pręt środkowy siatki. Podobne zależności obserwowano w pozostałych elementach badawczych serii DI i DII.



Rys. 4. Wykres odkształcenia podłużnych i poprzecznych prętów zbrojeniowych siatki
Fig. 4. Steel deformations for lateral and longitudinal wire mesh bars

Zbrojenie w postaci siatek miało również znaczny wpływ na rysoodporność muru. Na rys. 5 pokazano uśrednione wykresy naprężeń dla poszczególnych serii z zaznaczeniem faz pracy przed i po zarysowaniu muru. W wypadku modeli serii D zarysowanie nastąpiło na poziomie naprężeń powyżej 12 MPa, zaś elementy badawcze serii E rysowały się przy naprężeniach większych od 14 MPa, więc w momencie, gdy mury niezbrojone uległy już zniszczeniu.



Rys. 5. Średnie naprężenia w poszczególnych seriach: do pierwszej rysy i od rysy do zniszczenia
Fig. 5. Average values of stress to first crack and from crack to failure for each series

6. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zbrojenie na bardzo istotny wpływ na zachowanie muru. Przedstawione wyniki badań prowadzą do następujących wniosków:

- Zbrojenie w postaci siatek zwiększyło nośność muru.
- Najlepsze wyniki uzyskano dla elementów zbrojnych cienkimi siatkami zgrzewanymi ułożonymi w każdej spoinie (wzrost nośności ponad 40%). Przy o połowę mniejszym procencie zbrojenia uzyskano jednakże niewiele mniejszy wzrost nośności rzędu 37%.
- Elementy zbrojone siatkami plecionymi o większej średnicy prętów zbrojeniowych wykazały mniejsze wzrosty nośności – około 25%. Zaobserwowano podobną tendencję jak w wypadku elementów zbrojonych siatkami zgrzewanymi – dwukrotne zwiększenie pola powierzchni zbrojenia spowodowało nieznaczny wzrost nośności.
- Sposób niszczenia się elementów zbrojonych siatkami był identyczny jak modeli niezbrojonych.
- Zastosowanie siatek zbrojeniowych znacznie zwiększyło rysoodporność muru.

LITERATURA

1. Adamski W.: Mury zbrojone, Inżynieria i Budownictwo, nr 3, 1949, 111÷118.
2. Danilecki W.: Konstrukcje zespolone. Murowe zbrojone i ceglano-żelbetowe, Budownictwo i Architektura, Warszawa 1954.
3. Żenczykowski W.: Podstawy wytrzymałościowe obliczeń statycznych konstrukcji murowanych z cegły, PWN, Warszawa 1954.
4. Flohrer C., Hilsdorf H.K.: Enhanced ductility of masonry loaded in compression, Proc. of the 6th International Brick/Block Masonry Conference, Rome 1982, 359÷367.
5. Flohrer C., Hilsdorf H.K.: Duktiles Mauerwerk – Alternative Bewehrungsformen, Kurzbericht aus der Bauforschung, nr 12, 1984.
6. Haardt P., Hilsdorf H.K.: Tragfähigkeitsuntersuchungen an exzentrisch belasteten bewehrten Mauerpfeilen, Proceedings of the 9th International Brick/Block Masonry Conference, Berlin 1991, 359÷367.

7. Vintzileou E: Improvement of Ductility Characteristics of Plain Masonry by Means of Local Horizontal Reinforcement, Masonry International, nr 1, 1999.
8. Timperman P., Rice J.A.: Bed joint reinforcement in masonry. Proceedings of the Fourth International Masonry Conference. British Masonry Society, London 1995, t. 2, 451÷453.
9. Pohl R.: Mauerwerksbewehrung erweitert den einsatzbereich von Ziegelmauerwerk, DBZ, nr 9, 1996, 125÷128.
10. Pfeffermann O., Van Hoorickx B.: Some practicular applications of reinforced masonry in Belgium. Proc. of the 12th Brick/Block Masonry Conference, Madrid 2000, 1437÷1446.
11. Van De Loock G.: Special reinforcement of masonry, ZI International, nr 1, 1980, 16÷18.
12. Drobiec Ł.: Badania nośności na ściskanie murów ze zbrojeniem w spoinach wspornych, I Konferencja Doktorantów Wydziałów Budownictwa, Gliwice 2000, Z. 89, 31÷42.
13. Drobiec Ł.: Badania wytrzymałości na ściskanie murów z podłużnym zbrojeniem umieszczonym w spoinach wspornych, II Konferencja Doktorantów Wydziałów Budownictwa, Gliwice - Wisła 2001, Z. 93, 87÷96.
14. EN 1015, Methods of test for mortar for masonry.
15. PrEN 772-1:1995, Methods of test for masonry units – part 1: Determination of compressive strength. CEN/TC125 N 305, July 1995.
16. EN 1052-1, Method of test for masonry. Determination of compressive strength, 1998.

Recenzent: Prof. dr inż. Bohdan Lewicki

Abstract

Researches of compressive strength, modulus of elasticity and Poisson's ratio of masonry elements with wire mesh bed joint reinforcement are presented in this paper. As reinforcement woven and welded wire mesh were used. There were used 2 percentage of the reinforcements: about 0,1% and 0,05%. The results of investigations were compared with the results of un-reinforced samples.

It was proved that wire mesh bed joint reinforcement increase the value of masonry compressive stress. Moreover, the reinforcement wasn't changing the manner of failure of the test samples. The most efficient reinforcement is the one with some thin bars The obtained increase of wall load capacity amounted to 40%.