

dr inż. Adam Piekarczyk¹⁾
 ORCID: 0000-0002-5790-9560

Badania ścian zbrojonych i niezbrojonych z bloczków z ABK podpartych na uginającej się konstrukcji

Tests of reinforced and unreinforced walls made of AAC blocks supported on a deflecting structure

DOI: 10.15199/33.2020.04.02

Streszczenie. W artykule przedstawiono wybrane wyniki porównawczych badań eksperymentalnych zbrojonych i niezbrojonych ścian murowanych w skali naturalnej, wykonanych z bloczków z autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK). Zbrojenie w postaci siatek: stalowych; z włókien szklanych i bazaltowych umieszczano w każdej spoinie wspornej muru. Ściany poddawano jednoczesnemu obciążeniu pionowemu przykładanemu do górnej powierzchni ściany i zwiększającemu się ugięciu konstrukcji, na której były one liniowo oparte. Nośność ścian zbrojonych była ok. 1,5 razy większa niż ścian bez zbrojenia. Wyniki badań wykazały również mniejszą wartość kątów odkształcenia ścian zbrojonych w porównaniu ze ścianami niezbrojonymi przy danym obciążeniu i ugięciu. W przypadku ścian zbrojonych powstałe zarysowania miały znacznie mniejszą szerokość. W artykule opisano również mechanizm zarysowania i zniszczenia badanych ścian.
Słowa kluczowe: mury z bloczków ABK; zbrojenie w spoinach wspornych; zbrojenie siatkami; ugięcia konstrukcji wsporczej; kąty odkształcenia.

Abstract. The paper presents selected results of wider comparative experimental tests on masonry walls in full-scale made of AAC masonry units. The walls were unreinforced and reinforced. The reinforcement in form of steel wire, glass and basalt fiber meshes was applied in each masonry bed joint. The walls were subjected to simultaneous incrementing vertical loads and deflection of the structure which they are supported on. The carrying capacity of reinforced walls was up to 1,5 times higher than unreinforced walls. Test results of reinforced walls showed also lower values of deformation angles in relation to the walls without reinforcement for given load and deflection of support. In case of reinforced walls, much smaller widths of the cracks were obtained. The paper describes cracking and damaging mechanism of the walls as well.

Keywords: AAC masonry; bed joint reinforcement; mesh reinforcement; deflected supporting structure; angle of deformation.

Uszkodzenia ścian murowanych polegają zwykle na powstaniu zarysowań i pęknięć o różnej szerokości. Możliwe jest również wystąpienie zmiążdżenia muru oraz wykruszenia elementów murowych i zaprawy. Zarysowania ścian są często spowodowane nierównomiernymi przemieszczeniami elementów konstrukcji do nich przylegającej, najczęściej stropów, fundamentów oraz ścian i słupów, z którymi są połączone. Natomiast przemieszczenia elementów przylegających do ścian murowanych mogą wynikać z niewłaściwego przygotowania podłoża gruntowego, np. nieodpowiedniego lub nierównomiernego zagęszczenia, zmiany stosunków wodnych związanych z melioracją lub dodatkowym drenażem, odwodnienia podłoża w wyniku wykonywania w sąsiedztwie głębokich wykopów, pęcznienia lub skurczu gruntu spowodowanego przez roślinność, przemieszczania gruntów wysadzinowych, wymywania gruntu na skutek awarii instalacji wodno-kanalizacyjnej lub deszczowej, utraty stateczności podłoża, dodatkowego osiadania spowodowanego wznoszeniem obiektów obok budynku istniejącego, zagęszczeniem gruntu i zwiększeniem obciążeń na skutek ruchu pojazdów oraz ciągłych i nieciągłych deformacji podłoża wywołanych eksploatacją górniczą.

Bardzo częstą przyczyną zarysowania ścian murowanych są ugięcia elementów konstrukcji stropów, na których ściany się opierają. Już kilkamilimetrowe ugięcie stropu może prowadzić do powstania zarysowań. Wynikają one z przemieszczeń pionowych, które występują po wymurowaniu ścian i usunięciu stemplowania, częściowego lub w całości. Takie ugięcia stropów spowodowane są ciężarem własnym warstw podłóg, wypraw tynkarskich, instalacji i innych elementów podwieszanych do stropów, obciążeniem eksploatacyjnym stropu oraz przyrostem ugięcia na skutek odkształceń opóźnionych, zwiększających się w czasie, w tym związanych ze skurczem i pęcznieniem betonu. W przypadku ścian nośnych ugięcia stropów wynikają dodatkowo z obciążeń stałych i zmiennych przekazywanych na ścianę z elementów konstrukcji znajdujących się wyżej.

Ze względu na niewielką wczesną sztywność ścian murowanych (niezwiązana zaprawa w poszczególnych warstwach muru) oraz zachodzące w nich procesy reologiczne, przy wyznaczaniu ugięcia stropu można nie uwzględniać ich ciężaru własnego, bez warstw tynku, pod warunkiem, że ściany zostały wzniesione na niepodpartym stropie. Zapobieganie zarysowaniu takich ścian polega przede wszystkim na ograniczeniu ugięcia stropu na etapie projektowania i wykonania konstrukcji.

Projektując konstrukcję należy zwracać uwagę na odpowiednie założenia statyczne, w tym stosowanie stropów opartych wszystkimi krawędziami na podporach o możliwie du-

¹⁾ Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa; Adam.Piekarczyk@polsl.pl

żej sztywności, skracanie rozpiętości skrajnych przęseł stropów wieloprzęsłowych, konstruowanie podpór o możliwie podobnej sztywności na wszystkich kondygnacjach itd.

Na etapie wykonywania konstrukcji należy pamiętać o tym, aby ściany na stropie murować dopiero po usunięciu podparcia montażowego. Ściany działowe i wypełniające powinny być murowane na zaprawach cementowo-wapiennych ze spoinami normalnej grubości. Należy unikać zapraw cementowych i cienkich spoin. Niezbędne jest również takie wykończenie ścian nienośnych, aby wyprawy tynkarskie ścian i stropów były od siebie oddzielone oraz odpowiednie połączenie krawędzi pionowych ścian wypełniających z konstrukcją żelbetową i ścian działowych z innymi ścianami, co pozwoli na zminimalizowanie zarysowań pionowych na styku tych elementów. Zastosowanie zbrojenia układanego w spoinach wspornych muru może prowadzić do zmniejszenia szerokości zarysowań, lecz zwykle nie zapobiega ich wystąpieniu, szczególnie w przypadku ścian z otworami. Zdarzają się również błędy wykonawcze, które polegają na murowaniu ścian działowych na odkształcalnych warstwach podłóg oraz wykonywaniu jastrychów i warstw podłóg z zapraw o znacznie większej grubości niż przewidziano w projekcie.

Zarysowania ścian murowanych, oprócz ugięcia stropów, mogą wynikać z różnych pionowych przemieszczeń ścian, słupów i stropów, do których ściany przylegają [3] oraz oddziaływań dynamicznych i wyjątkowych. Przyczyną uszkodzeń bywa też różnica temperatury na dużych powierzchniach oraz skurcz lub pęcznienie muru wykonanego z różnych materiałów, a także skurcz betonu w elementach konstrukcji przylegającej do muru.

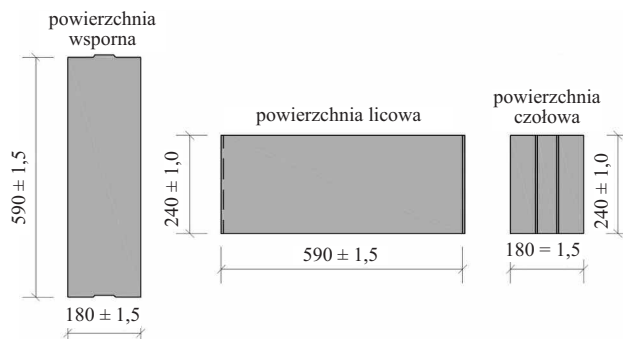
Normowe zalecenia konstrukcyjne

W normie PN-EN 1992-1-1 [5] znajduje się zapis mówiący, że należy ograniczyć ugięcia, które mogą powodować uszkodzenia przylegających do siebie części konstrukcji. Właściwą granicą ugięcia, powstającego pod działaniem obciążeń quasi-stałych po zakończeniu wznoszenia konstrukcji, jest zwykle 1/500 rozpiętości. Ograniczenie ugięcia do 1/500 rozpiętości zespolonych płyt stropowych znajduje się w PN-EN 13747 [6]. W zależności od wrażliwości części przylegających można wziąć pod uwagę inne ograniczenia.

Amerykańska norma dotycząca projektowania konstrukcji murowych ACI 318-2 [1] ogranicza wartości maksymalne ugięcia do 1/480 rozpiętości efektywnej stropu w sytuacji, gdy znajdują się na nim elementy niekonstrukcyjne (np. murowane ściany działowe). Natomiast norma amerykańska ACI 530-05/ASCE 5-05/ TMS 402-05 [2] ogranicza ugięcie belek i nadproży, wynikające z działania wszystkich obciążeń o charakterze długotrwałym, do 1/600 rozpiętości, ale nie więcej niż 7,6 mm.

Materiały i elementy próbne

Do wykonania ścian użyto bloczków z autoklawizowanego betonu komórkowego o nazwie SOLBET Optimal typu P+W (rysunek 1), o średniej deklarowanej gęstości 600 kg/m^3 , z uchwytami montażowymi oraz wyposażonych w pióro i wpust. Deklarowana szerokość bloczków wynosiła $180 \pm 1,5 \text{ mm}$, wysokość $240 \pm 1 \text{ mm}$, a długość $590 \pm 1,5 \text{ mm}$.



Rys. 1. Bloczki z ABK SOLBET Optimal P+W zastosowane do wykonania badanych ścian

Fig. 1. SOLBET Optimal P+W AAC blocks used for making walls

Bloczki należały do kategorii I elementów murowych. Ich średnia deklarowana znormalizowana wytrzymałość na ściskanie była nie mniejsza niż $4,0 \text{ N/mm}^2$.

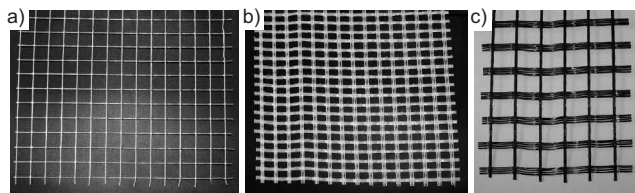
Zgodnie z wynikami badań materiałowych, przeprowadzonych w Katedrze Konstrukcji Budowlanych Politechniki Śląskiej [4], średnia znormalizowana wytrzymałość na ściskanie f_B , określona zgodnie z PN-EN 772-1 [7] na próbkach sześciennych o boku 100 mm wyciętych z bloczków, wynosiła $4,04 \text{ N/mm}^2$ ($f_B = 5,05 \text{ N/mm}^2$, $s = 0,341 \text{ N/mm}^2$, $v = 6,76\%$) przy obciążeniu prostopadłym do płaszczyzny wspornej, gdzie f_B to wytrzymałość średnia, s – odchylenie standardowe, a v jest współczynnikiem zmienności.

W przypadku obciążenia w kierunku prostopadłym do powierzchni czołowych, znormalizowana wytrzymałość na ściskanie wynosiła $4,10 \text{ N/mm}^2$ ($f_B = 5,13 \text{ N/mm}^2$, $s = 0,395 \text{ N/mm}^2$, $v = 7,71\%$), podobnie jak wytrzymałość znormalizowana przy ścisaniu w kierunku prostopadłym do powierzchni licowej ($f_B = 5,13 \text{ N/mm}^2$, $s = 0,327 \text{ N/mm}^2$, $v = 6,38\%$). Wytrzymałość średnia całych bloczków (określona na sześciu elementach murowych) była równa $3,65 \text{ N/mm}^2$ ($s = 0,363 \text{ N/mm}^2$, $v = 9,95\%$), natomiast średnia wytrzymałość, określona na czterech wyciętych z bloczków próbkach walcowych o średnicy 55 mm i wysokości 120 mm, wynosiła $4,14 \text{ N/mm}^2$ ($s = 0,109 \text{ N/mm}^2$, $v = 2,64\%$).

Elementy próbne wykonano przy użyciu systemowej zaprawy murarskiej SOLBET 01 klasy M5 na białym cemencie. Zgodnie z wynikami badań [4], przeprowadzonymi wg normy PN-EN 1015-11 [8], uzyskano średnią wytrzymałość na zginanie $2,0 \text{ N/mm}^2$ ($s = 0,060 \text{ N/mm}^2$) i średnią wytrzymałość na ściskanie $6,1 \text{ N/mm}^2$ ($s = 0,374 \text{ N/mm}^2$).

W spoinach wspornych muru zastosowano następujące zbrojenie:

- 1) stalową siatkę zgrzewaną o oczkach kwadratowych $12,7 \times 12,7 \text{ mm}$ i średnicy drutu 1,05 mm (rysunek 2a), zabezpieczoną antykorozyjnie warstwą cynku w ilości nie mniejszej niż 350 g/m^2 ; wytrzymałość na rozciąganie pojedynczego drutu, zgodnie z deklaracją producenta, była równa 350 N;
- 2) siatkę z włókien szklanych o oczkach $9 \times 13 \text{ mm}$ i gramaturze po zaimpregnowaniu $335 \pm 30 \text{ g/m}^2$ (rysunek 2b); deklarowana wytrzymałość na rozciąganie pasa siatki o szerokości 5 cm była nie mniejsza niż 4000 N wzdłuż osnowy i nie mniejsza niż 3000 N w kierunku wątku; zgodnie z deklaracją producenta siatka była odporna na alkalia i gnicie;



Rys. 2. Siatki użyte do zbrojenia, układane w spoinach wspornych ścian, wykonane z: a) ocynkowanego drutu stalowego; b) włókien szklanych; c) włókien bazaltowych

Fig. 2. Reinforcing meshes, placed in masonry bed joints, made of: a) galvanized steel wire; b) glass fibres; c) basalt fibres

3) siatkę z włókien bazaltowych o oczkach 30×30 mm i gramaturze 260 ± 10 g/m² (rysunek 2c); deklarowana wytrzymałość siatki na rozciąganie wzdłuż osnowy i wątku była taka sama i wynosiła nie mniej niż 50000 N/m. Masa objętościowa włókien, z których wykonano siatkę, to $2,67 \pm 5\%$ g/cm³, a deklarowana temperatura topnienia $1350 \pm 100^\circ\text{C}$.

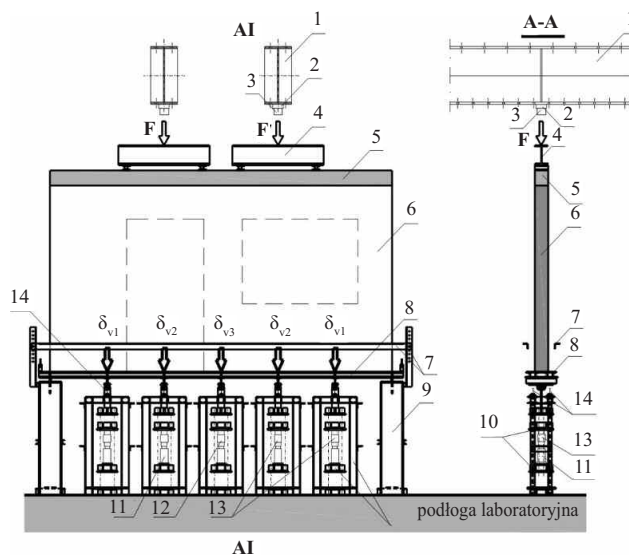
Wszystkie zbadane ściany wykonano w skali naturalnej i nie zawierały otworów. Miały one nominalną długość 4445 mm, wysokość 2427 mm, grubość 180 mm, cienkie spoiny wsporne i niewypełnione spoiny czołowe.

Przeprowadzono badania ośmiu ścian: dwóch niezbrojonych (AN-1 i AN-2); dwóch ze zbrojeniem siatkami stalowymi (AZS-1 i AZS-2); dwóch ze zbrojeniem siatkami z włókien szklanych (AZG-1 i AZG-2) oraz dwóch ze zbrojeniem w postaci siatek z włókien bazaltowych (AZB-1 i AZB-2). W ścianach zbrojonych siatki ciągle układano we wszystkich dziewięciu spoinach wspornych. W przekroju poprzecznym ściany, w każdej spoinie wspornej znajdowało się 13 drutów siatki stalowej, 12 splotów siatki z włókien szklanych i 6 splotów siatki z włókien bazaltowych.

Stanowisko badawcze i technika badań

Badania ścian poddanych obciążeniu pionowemu i jednoczesnemu ugięciu belki, na której się one opierają prowadzono w specjalnie do tego celu zaprojektowanym i skonstruowanym stalowym stanowisku badawczym (rysunek 3). Ściany murowano bezpośrednio w stanowisku badawczym na wiotkiej stalowej belce podpartej na całej długości (pozycja 8 na rysunku 3). Po wymurowaniu ściany umieszczano prefabrykowany wieniec żelbetowy (pozycja 5 na rysunku 3) na jej górnej powierzchni na warstwie zaprawy. Pionowe obciążenie F realizowano za pomocą siłowników hydraulicznych o zakresie do 500 kN (pozycja 3 na rysunku 3). Siły F były mierzone przy użyciu siłomierzy o zakresie do 500 kN (pozycja 2 na rysunku 3). Obciążenie przekazywano na górną krawędź ściany za pośrednictwem dwóch dwuteowych stalowych belek trawersowych (pozycja 4 na rysunku 3).

Przemieszczenia pionowe stalowej belki podpierającej ścianę odzwierciedlały przemieszczenia rzeczywistych konstrukcji podpierających takich, jak elementy stropu, nadproża lub fundamenty. Dodatkowe ugięcia konstrukcji podpierającej nośną ścianę murowaną wynikają z obciążenia bezpośrednio oddziałującego na strop (ciężar własny stropu i obciążenia zmienne) oraz są skutkiem opóźnionych odkształceń betonu (w wyniku skurczu i pęcznienia), które mogą być ponad trzykrotnie większe od odkształceń sprężystych. Z tego powodu ugię-



Rys. 3. Stanowisko badawcze: 1 – rama stalowa; 2 – siłomierz o zakresie do 500 kN; 3 – siłownik hydrauliczny o zakresie do 500 kN; 4 – trawers stalowy; 5 – wieniec żelbetowy; 6 – badana ściana; 7 – elementy układu pomiarowego przemieszczeń pionowych podpory; 8 – wiotka podpora ściany (belka stalowa); 9 – podpory belki; 10 – element systemu wymuszania ugięcia belki podpierającej ścianę; 11 – siłownik hydrauliczny o zakresie do 150 kN; 12 – siłomierz o zakresie do 100 kN; 13 – siłomierz o zakresie 50 kN; 14 – śruby ustalające ugięcie belki podpierającej ścianę

Fig. 3. Test stand: 1 – steel frame; 2 – force gauge with range to 500 kN; 3 – hydraulic jack with the range to 500 kN; 4 – steel cross beam; 5 – reinforced concrete rim; 6 – tested wall; 7 – members of the system for measuring the vertical displacements; 8 – flexible wall support (steel beam); 9 – external support of the beam; 10 – elements of the system enforcing vertical displacements; 11 – hydraulic jack with range to 150 kN; 12 – force gauge with the range to 100 kN; 13 – force gauge with the range to 50 kN; 14 – screws for fixing the deflections

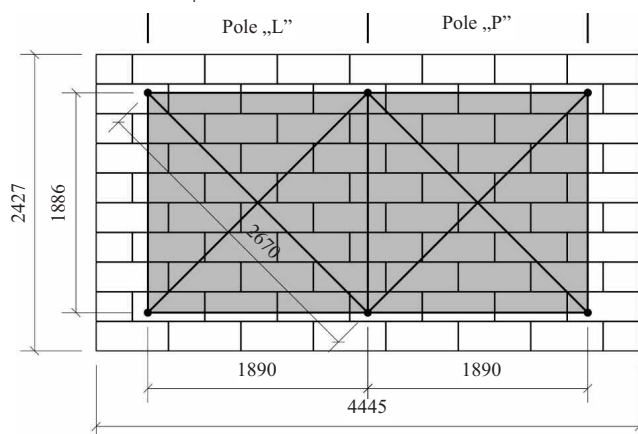
cie stalowej belki podpierającej murowaną ścianę δ_{vi} było realizowane dwójako. Po pierwsze, wynikało z obciążenia pionowego ściany siłami F , przekazywanego na belkę pośrednio. Po drugie mogło być zwiększone do wartości wcześniej zaplanowanej dla danej fazy badania przy użyciu zestawu elementów specjalnie do tego celu przewidzianych, wyposażonych w siłowniki hydrauliczne o zakresie do 150 kN i siłomierzy o zakresie 50 i 100 kN (pozycje 10, 11, 12 i 13 na rysunku 3).

Przemieszczenia belki podpierającej ścianę mierzono za pomocą czujników indukcyjnych o zakresie pomiarowym ± 50 mm, przymocowanych do stalowych kątowników połączonych z zewnętrznymi podporami stanowiska badawczego niezależnie od odkształcającej się belki (pozycja 7 na rysunku 3). Przemieszczenia pionowe mierzono po obu stronach ściany w 1/6 i 5/6 rozpiętości belki (przemieszczenie δ_{v1}), w 1/3 i 2/3 rozpiętości (przemieszczenie δ_{v2}) i w środku rozpiętości belki (przemieszczenie δ_{v3}). Po osiągnięciu ugięcia zaplanowanego w danej fazie badań, było ono blokowane za pomocą śrub M30 (pozycja 14 na rysunku 3).

Oprócz wartości sił F i pionowych przemieszczeń belki podpierającej δ_{vi} mierzono także odkształcenia ściany wzdłuż jedenastu baz pomiarowych, znajdujących się na obu powierzchniach muru w dwóch obszarach umownie nazwanych lewym „L” i prawym „P” (rysunek 4). Poziome bazy po-

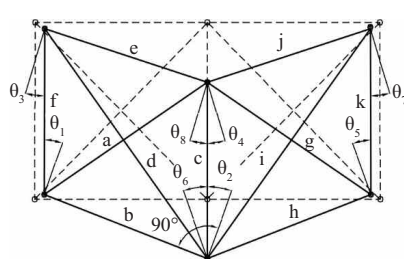
miarowe miały długość 1890 mm, bazy pionowe 1886 mm, natomiast bazy przekątniowe 2670 mm. Zmianę długości baz pomiarowych, wynikającą z obciążenia pionowego siłami F i ugięciem belki podpierającej ścianę murowaną, mierzono za pomocą czujników indukcyjnych o zakresie pomiarowym ± 5 mm i ± 10 mm. Na podstawie zmierzonych zmian długości baz pomiarowych, oznaczonych literami od a do k (rysunek 5), obliczano wartości kątów odkształcenia postaciowego θ_1 na obszarach „L” i „P”. Przyjęto, że średnia wartość kąta na obszarze „L” jest średnią arytmetyczną od θ_1 do θ_4 (w sumie 8 wartości kątów wyznaczonych na obu powierzchniach ściany), natomiast na obszarze „P” była to średnia kątów od θ_5 do θ_8 . Przykładowo, kąt θ_4 (rysunek 5) obliczono z zależności:

$$\theta_4 = \arcsin[(d^2 - e^2 - c^2)/2ec]$$



Rys. 4. Pola lewe „L” i prawe „P”, w których dokonywano pomiarów odkształcenia ścian

Fig. 4. Areas where the wall deformations were measured in the left „L” and right „R” areas



Rys. 5. Schemat określania kątów odkształcenia ścian θ_1 na podstawie zmiany długości jedenastu baz pomiarowych
Fig. 5. Scheme of determination of deformation angles on the basis of the change in length of 11 measuring bases

Wyniki badań

W tabelach 1 ÷ 4 zestawiono podstawowe wyniki przeprowadzonych badań. Tabela 1 zawiera wartości maksymalnych zarejestrowanych obciążeń p_u w przeliczeniu na kN/m^2 , ich wartości średnie dla danego typu elementów badawczych $p_{u,mv}$, stosunek uśrednionego obciążenia maksymalnego uzyskanego w przypadku ścian zbrojonych do obciążenia maksymalnego ścian niezbrojonych $p_{u,mv,i}/p_{u,mv,AN}$ oraz maksymalne $\delta_{1/2,u}$ i średnie $\delta_{1/2,u,mv}$ wartości ugięcia zmierzonego w środku długości belki podpierającej ściany towarzyszące maksymalnemu ugięciu. Obciążenia w przypadku ścian zbrojonych były największymi zmierzonymi wartościami tzn., że po osiągnięciu górnej granicy rzeczywistego zakresu (ok. 460 kN, 1150 kN/m^2) badania przerywano z obawy o zniszczenie sprzętu badawczego i zagrożenie osób prowadzących badania. Z tego powodu, w przypadku ścian zbro-

Tabela 1. Maksymalne obciążenie i towarzyszące mu ugięcie belki podpierającej

Table 1. Ultimate load and supporting beam deflection

Ściana	Typ siatki zbrojeniowej	p_u [kN/m^2]	$p_{u,mv}$ [kN/m^2]	$p_{u,mv,i}/p_{u,mv,AN}$	$\delta_{1/2,u}$ [mm] ($L/\delta_{1/2,u}$)	$\delta_{1/2,u,mv}$ [mm] ($L/\delta_{1/2,u,mv}$)
AN-1	–	790	787	–	32,0 (1/141)	32,5 (1/138)
AN-2	–	784	787	–	33,0 (1/136)	–
AZB-1	włókna bazaltowe,	1131	1130	1,44	38,4 (1/117)	38,0 (1/118)
AZB-2	30 × 30 mm	1130	–	–	37,6 (1/120)	–
AZG-1	włókna szklane,	1126	1135	1,44	43,3 (1/104)	42,4 (1/106)
AZG-2	9 × 13 mm	1143	–	–	41,5 (1/108)	–
AZS-1	dрут stalowy,	1151	1116	1,42	41,9 (1/107)	41,3 (1/109)
AZS-2	12,7 × 12,7 mm	1080	–	–	40,6 (1/111)	–

Tabela 2. Maksymalne kąty odkształcenia

Table 2. Ultimate deformation angles

Ściana	Typ siatki zbrojeniowej	θ_u [mm/m]	$\theta_{u,mv}$ [mm/m]	$\theta_{u,mv,i}/\theta_{u,mv,AN}$
AN-1	–	7,36; 10,97	9,17	–
AN-2	–	13,09; 4,44	8,77	–
AZB-1	włókna bazaltowe	5,75; 4,60	5,18	–
AZB-2	30 × 30 mm	3,07; 7,89	5,48	0,59
AZG-1	włókna szklane	4,12; 3,31	3,72	–
AZG-2	9 × 13 mm	3,15; 5,09	4,12	0,44
AZS-1	dрут stalowy	4,90; 2,86	3,88	–
AZS-2	12,7 × 12,7 mm	8,01; 3,10	5,56	0,53

Tabela 3. Kąty odkształcenia ścian przy ugięciu w środku długości belki podpierającej wynoszącym ok. 1/500 rozpiętości

Table 3. Deformation angles at the deflection of the support beam equal to approximately 1/500 of the span

Ściana	Typ siatki zbrojącej	θ_{500} [mm/m]	$\theta_{500,mv}$ [mm/m]	$\theta_{500,mv,i}/\theta_{500,mv,AN}$
AN-1	–	2,44; 1,32	1,88	–
AN-2	–	2,62; 1,53	2,08	–
AZB-1	włókna bazaltowe	1,50; 0,94	1,22	–
AZB-2	30 × 30 mm	1,62; 1,20	1,41	0,66
AZG-1	włókna szklane	1,80; 0,443	1,12	–
AZG-2	9 × 13 mm	1,30; 1,59	1,45	0,65
AZS-1	dрут stalowy	0,684; 0,417	0,55	–
AZS-2	12,7 × 12,7 mm	0,684; 1,22	0,95	0,38

Tabela 4. Kąty odkształcenia ścian przy ugięciu w środku długości belki podpierającej wynoszącym ok. 1/250 rozpiętości

Table 4. Deformation angles at the deflection of the support beam equal to approximately 1/250 of the span

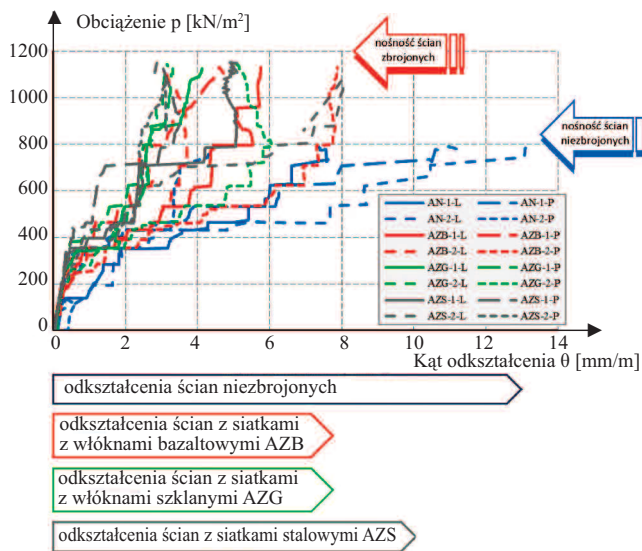
Ściana	Typ siatki zbrojącej	θ_{250} [mm/m]	$\theta_{250,mv}$ [mm/m]	$\theta_{250,mv,i}/\theta_{250,mv,AN}$
AN-1	–	5,42; 3,88	4,65	–
AN-2	–	7,66; 3,33	5,50	–
AZB-1	włókna bazaltowe	2,90; 1,66	2,28	–
AZB-2	30 × 30 mm	2,88; 4,07	3,48	0,57
AZG-1	włókna szklane	1,82; 1,38	1,60	–
AZG-2	9 × 13 mm	1,88; 2,85	2,37	0,39
AZS-1	dрут stalowy	2,24; 1,08	1,66	–
AZS-2	12,7 × 12,7 mm	1,90; 1,97	1,94	0,35

jonych wartości obciążeń p_u należy traktować jako „nie mniejsze niż”.

W tabeli 2 zestawiono wartości maksymalne kątów odkształcenia postaciowego uzyskanych w poszczególnych obszarach ścian θ_u , wartości średnie poszczególnych ścian $\theta_{u,mv}$ oraz uśrednione kąty odkształcenia danej grupy elementów próbnych $\theta_{u,mv,i}$, a także stosunek średnich wartości maksymalnych kątów odkształcenia postaciowego ścian zbrojonych do kątów odkształcenia uzyskanych w przypadku ścian niezbrojonych $\theta_{u,mv,i}/\theta_{u,mv,AN}$.

Podobnego zestawienia kątów odkształcenia postaciowego dokonano w tabelach 3 i 4, gdzie przedstawiono jednak poszczególne wartości kątów θ_{500} i θ_{250} , ich średnie $\theta_{500,mv}$ i $\theta_{250,mv}$ ($\theta_{500,mv,i}$ i $\theta_{250,mv,i}$) oraz stosunek kątów wyznaczonych w ścianach zbrojonych i niezbrojonych $\theta_{500,mv,i}/\theta_{500,mv,AN}$ i $\theta_{250,mv,i}/\theta_{250,mv,AN}$ przy ugięciu w środku belki podpierającej wynoszącym 1/500 i 1/250 jej rozpiętości. Ugięcie elementów konstrukcji równe 1/500 jest, zgodnie z normą PN-EN 1992-1-1, wartością graniczną w przypadku, gdy ugięcia mogą powodować uszkodzenia przylegających do siebie części konstrukcji, natomiast 1/250, to wartość graniczna ugięcia elementów stropu żelbetowego, po przekroczeniu której wygląd i ogólna przydatność konstrukcji żelbetowej mogą być niezadawalające.

Na rysunku 6 pokazano zależność obciążenie-kąt odkształcenia postaciowego ($p-\theta$) w przypadku obszarów „L” i „R” wszystkich niezbrojonych i zbrojonych elementów próbnych przy jednoczesnym przyroście ugięcia belki podpierającej $\delta_{1/2}$. Zaznaczono na nim dodatkowo poziom obciążeń maksymalnych, uzyskanych w przypadku ścian niezbrojonych i zbrojonych oraz zakres kątów odkształcenia postaciowego wszystkich ścian. Podobnie na rysunku 7 przedstawiono zależność ugięcie w środku rozpiętości belki podpierającej ściany-kąt odkształcenia postaciowego ($\delta_{1/2}-\theta$) przy jednoczesnym przyroście obciążenia pionowego p .

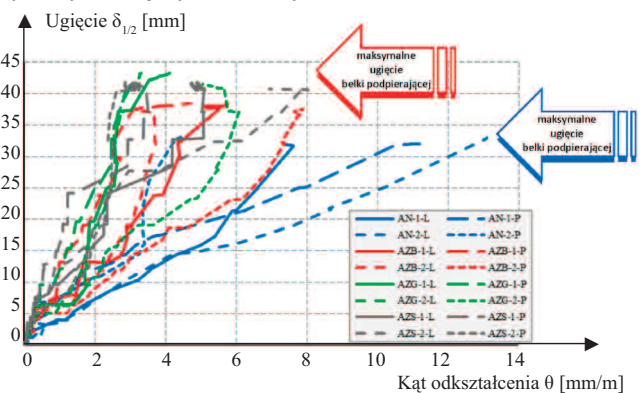


Rys. 6. Zależność między kątem odkształcenia muru θ i obciążeniem pionowym górnej krawędzi ściany p (przy jednoczesnym przyroście ugięcia belki podpierającej ścianę $\delta_{1/2}$)

Fig. 6. Relationship between the deformation angle and the vertical load (with the simultaneous increase in deflection of the beam supporting the walls)

Z wyników badań podanych w tabelach 1 ÷ 4 oraz przedstawionych na rysunkach 6 i 7 wynika, że zbrojenie układane w spoinach wspornych muru w ilości zastosowanej w badaniach, niezależnie od rodzaju siatek, wpływa na zwiększenie nośności ścian obciążonych pionowo i poddanych jednocześnie ugięciu podpory, na której ściany się opierają. Stosunek nośności ścian zbrojonych do nośności ścian niezbrojonych był nie mniejszy niż 1,42. Konsekwencją większego obciążenia ścian zbrojonych były również większe wartości towarzyszącego ugięcia belki podpierającej.

Wartości kątów odkształcenia postaciowego w przypadku ścian zbrojonych są mniejsze od kątów uzyskanych w badaniach ścian bez zbrojenia. Stosunek maksymalnych kątów odkształcenia postaciowego w ścianach niezbrojonych i zbrojonych był mniejszy lub równy 0,59. Podobne stosunki kątów

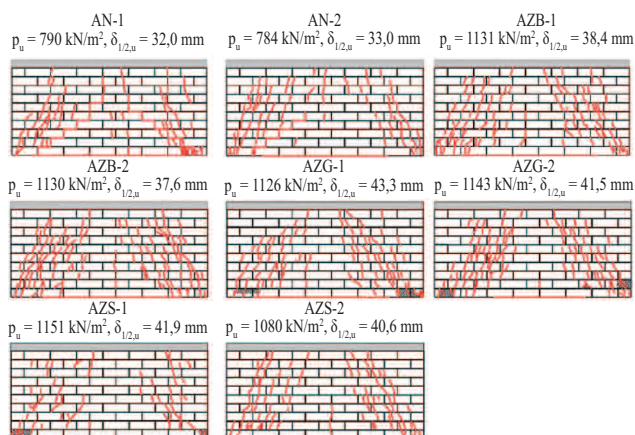


Rys. 7. Zależność między kątem odkształcenia muru θ i ugięciem w środku rozpiętości belki podpierającej $\delta_{1/2}$ (przy jednoczesnym przyroście obciążenia przekazywanego na górną powierzchnię ściany p)

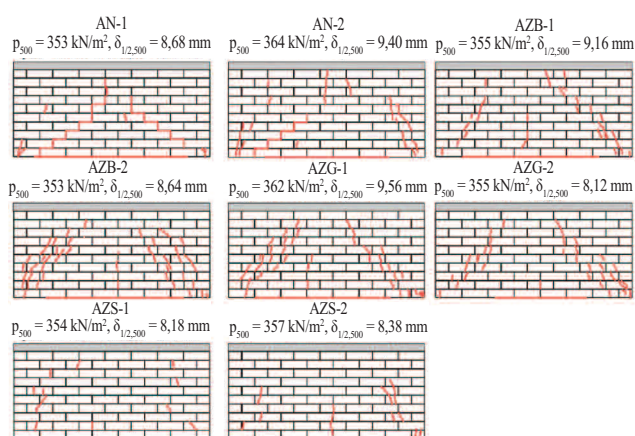
Fig. 7. Relationship between the deformation angle and deflection in the middle of the supporting beam (with the simultaneous increase of vertical load)

odkształcenia postaciowego przy ugięciu belki podpierającej równym 1/500 i 1/250 były mniejsze lub równe odpowiednio 0,66 i 0,57. Do pierwszych uszkodzeń ścian dochodziło przy ugięciu nieprzekraczającym 2 mm i przy obciążeniu pionowym równym 0. Uszkodzenia polegały na odspojeniu ściany od belki podpierającej. Jedynym wyjątkiem była ściana zbrojona siatką z drutu stalowego AZS-1, w której jako pierwsza pojawiła się pionowa rysa w elemencie murowym przy ugięciu 7,54 mm i obciążeniu 353 kN/m².

Na rysunku 8 przedstawiono zarysowania wszystkich badanych ścian przy obciążeniu maksymalnym i towarzyszącym mu ugięciu belki podpierającej. Oprócz odspojenia ścian od belki, występowały przede wszystkim wielokrotne zarysowania ukośne, rysy pionowe w rejonie dolnych naroży ścian i zmiążdżenie muru w tym obszarze oraz pojawiały się rysy pionowe w okolicy środka długości ścian. Na rysunkach 9 i 10 pokazano zarysowania ścian w momencie, gdy ugięcie belki podpierającej było równe ok. 1/500 jej rozpiętości, przy towarzyszącym obciążeniu pionowym 353 – 364 kN/m² i przy ugięciu 1/250 rozpiętości belki oraz obciążeniu pionowym 463 – 532 kN/m². Należy podkreślić, że „schodkowe” rysy ukośne, biegnące przez spoiny wsporne i czołowe, występowały jedynie w przypadku ścian niezbrojonych (rysunek 9). Najmniej rys zarejestrowano w ścianach AZS zbrojonych siatkami z drutu stalowego (rysunki 9 i 10).

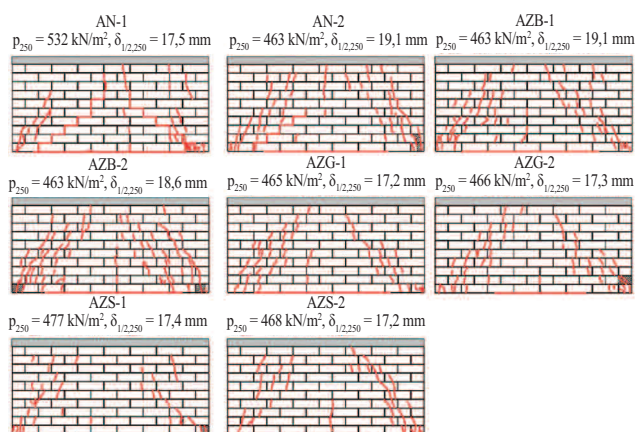


Rys. 8. Zarysowania ścian przy maksymalnym obciążeniu i ugięciu
Fig. 8. Cracking of walls at ultimate load and deflection



Rys. 9. Zarysowania ścian przy ugięciu belki podpierającej wynoszącym ok. 1/500 (9 mm) rozpiętości i odpowiadającym obciążeniu górnej powierzchni ściany

Fig. 9. Cracking of walls with a deflection equal to approximately 1/500 (9 mm) of the supporting beam span and corresponding load



Rys. 10. Zarysowania ścian przy ugięciu belki podpierającej wynoszącym ok. 1/250 (18 mm) rozpiętości i odpowiadającym obciążeniu górnej powierzchni ściany

Fig. 10. Cracking of walls with a deflection equal to approximately 1/250 (18 mm) of the supporting beam span and corresponding load

Wnioski

Na podstawie badań ścian w skali naturalnej, niezbrojonych i zbrojonych w spoinach wspornych siatkami z różnych materiałów, poddanych ścisaniu i jednoczesnemu pionowemu ugięciu belki stanowiącej podporę ścian stwierdzono, że:

- zbrojenie wpływa na zwiększenie obciążeń i ugięć, przy których dochodzi do zniszczenia ścian; nośność ścian zbrojonych była co najmniej 1,42 razy większa niż ścian bez zbrojenia;

- maksymalne odkształcenia ścian zbrojonych, wyrażone w postaci kątów odkształcenia postaciowego, były mniejsze niż w przypadku ścian niezbrojonych; stosunek maksymalnych wartości kątów odkształcenia postaciowego ścian zbrojonych do kątów uzyskanych w przypadku ścian niezbrojonych był mniejszy lub równy 0,59;

- przy ugięciu belki podpierającej 1/500 i 1/250 jej rozpiętości i towarzyszącym mu obciążeniu pionowym, odkształcenia ścian zbrojonych były mniejsze niż ich niezbrojonych odpowiedników; stosunek kątów odkształcenia postaciowego ścian zbrojonych do kątów uzyskanych w badaniach ścian bez zbrojenia był mniejszy niż 0,66 przy ugięciu 1/500 i nie większy niż 0,57 przy ugięciu 1/250;

- pierwsze uszkodzenia polegały zwykle (z wyjątkiem jednej ściany) na odspojeniu ściany w środku długości od belki podpierającej przy ugięciu nie większym niż 2 mm. Mechanizm pozostałych zarysowań odpowiadał efektowi przesklepienia łukowego, czyli powstaniu wielokrotnych rys ukośnych i pionowemu zarysowaniu oraz zmiażdżeniu ścian w rejonie dolnych naroży w wyniku silnej koncentracji naprężeń ścisających i stycznych w tym obszarze. Ukośne zarysowania „schodkowe” wystąpiły przy obciążeniu mniejszym niż połowa obciążenia maksymalnego jedynie w przypadku ścian niezbrojonych.

Literatura

- [1] ACI 318-02 Building code requirements for structural concrete.
- [2] ACI 530-05 Building code requirements for masonry structures.
- [3] Drobiec Łukasz. 2017. „Limitation of cracking in AAC masonry under the window zone/Begrenzung von Rissbildung in Porenbetonmauerwerk im Brüstungsbereich”. *Mauerwerk* 21. 2017, H. 5, S. 332 – 342.
- [4] Drobiec Łukasz, Jasiński Radosław. 2015. „Wpływ rodzaju zaprawy na parametry mechaniczne murów z ABK poddanych ścisaniu (Influence of the kind of mortar on mechanical parameters of AAC masonry subjected to compression)”. *Materiały Budowlane* 512 (4): 3 – 7.
- [5] PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [6] PN-EN 13747 Prefabrykaty z betonu. Płyty stropowe do zespolonych systemów stropowych.
- [7] PN-EN 772-1 Metody badań elementów murowych. Część 1: Określenie wytrzymałości na ścisanie
- [8] PN-EN 1015-11 Metody badań zapraw do murów. Część 11: Określenie wytrzymałości na zginanie i ciskanie stwardniałej zaprawy.

Przyjęto do druku: 04.03.2020 r.

Partner działu:

Stowarzyszenie Producentów Betonów

www.s-p-b.pl

