

Wpływ zbrojenia na nośność ścian z betonu komórkowego poddanych ścisnaniu ze zginaniem

Prof. dr hab. inż. Romuald Orłowicz, mgr inż. Rafał Jaworski, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin, dr hab. inż. Łukasz Drobiec, Politechnika Śląska, Gliwice

1. Wprowadzenie

Przez ściany murowane poddane łącznie obciążeniom pionowym i prostopadłym do ich powierzchni należy rozumieć konstrukcje, których zniszczenie może być spowodowane osiągnięciem wytrzymałości na ścisnienie lub zginanie (rozciąganie przy zginaniu), względnie utratą stateczności ściany. Sformułowanie to wynika bezpośrednio z definicji: ścian obciążonych głównie pionowo w pkt. 6.1 normy PN-EN 1996-1-1 [1] i ścian obciążonych prostopadłe do płaszczyzny w pkt. 6.3 tej normy. Przy pewnych kombinacjach sił wewnętrznych (moment zginający – siła ściskająca) w ścianie obciążonej pionowo i poziomo o nośności decydującą będzie wytrzymałość na ścisnienie lub stateczność ściany, przy innych zaś wytrzymałość na zginanie (rozciąganie przy zginaniu). Dlatego norma EC6 podaje trzy metody obliczeń ścian poddanych łącznie obciążeniom pionowym i prostopadłym do ich powierzchni [2, 3]. Ściany można analizować jako obciążone głównie pionowo, jako zginane lub stosując kombinację obu metod z uwzględnieniem płytowej pracy ściany.

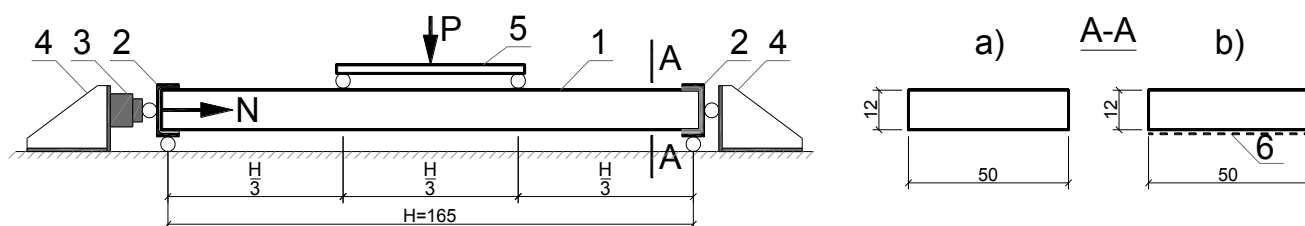
Pierwsza metoda pozwala traktować ścianę jako obciążoną głównie pionowo, w której nośność jest funkcją współczynników redukcyjnych nośności Φ obliczonych w przekrojach skrajnych (u góry i u dołu) oraz w połowie wysokości ściany, w zależności od wielkości mimośrodków oddziaływań poziomych e_{ne} lub e_{nm} .

Według drugiej metody możliwe jest sprawdzanie nośności ściany zginanej i ściskanej jak ściany zginanej z płaszczyzną z udziałem naprężeń ściskających o ograniczonej wartości. Pionowe obciążenia ściskające pozwalają na zwiększenie wytrzymałości obliczeniowej muru na zginanie f_{xd1} i posługiwanie się zastępczą wytrzymałością na zginanie $f_{xd1,app}$. Norma zastrzega jednak, że korzystny wpływ naprężeń ściskających zwiększających wytrzymałość, a co za tym idzie nośność ściany, można uwzględniać tylko w ścianach konstrukcyjnych o mniejszym znaczeniu, których zniszczenie nie wpływa na ogólną stateczność konstrukcji. Należy dodać, że zgodnie z pkt. 6.3.1 normy [1] nośność ściany

zginanej i ściskanej można obliczać jak ściany ściskanej po zastąpieniu współczynników redukcyjnych nośności Φ współczynnikami Φ_{η} obowiązującymi w przekrojach niezarysowanych z naprężeniami w strefie rozciąganej ograniczonymi do wartości odpowiadających wytrzymałości muru na rozciąganie przy zginaniu f_{xd1} . Dualizm warunków ULS wymienionych w metodach powoduje, że najkorzystniejszą metodą obliczania tego typu ścian (ewentualnej optymalizacji wymiarów) jest budowa wykresu interakcji moment zginający–siła ściskająca [3].

Nośność ścian poddanych obciążeniom pionowym i prostopadłym do ich powierzchni zależy od ich smukłości, wielkości mimośrodu obciążenia pionowego, sztywności muru i jego parametrów materiałowych oraz od stosunku wartości obciążeń poziomych i pionowych. Autorzy badań i studiów dotyczących tak obciążonych konstrukcji koncentrowali się zazwyczaj na określeniu wpływu i wzajemnej interakcji tych parametrów. W tym celu prowadzono badania murowanych ścian w różnych schematach obciążenia, najczęściej modeli obciążonych tylko mimośrodowo oraz murów obciążonych mimośrodowo i dodatkowo poziomo, prostopadłe do ich płaszczyzny. Badania ścian poddanych łącznie obciążeniom pionowym i prostopadłym do powierzchni nie są prowadzone często, co jest związane z technicznymi trudnościami realizacji tego typu obciążenia w warunkach laboratoryjnych. Znacznie częściej prowadzi się badania ścian ściskanych mimośrodowo, uzyskując podobny rozkład naprężeń w ścianie.

Zwiększenie nośności ścian na zginanie prostopadłe do swojej płaszczyzny możliwe jest poprzez zbrojenie. Najbardziej skutecznym w tym przypadku jest rozwiązanie, gdy zbrojenie w postaci siatek z materiałów kompozytowych umiejscowione jest na bocznych powierzchniach ścian [4, 5]. Można oczekiwać efektywności tego sposobu zbrojenia przy zginaniu ze ścisnaniem. Ponieważ w literaturze technicznej na ten temat brak jest informacji, autorzy niniejszego artykułu przeprowadzili badania dziesięciu pasm ścian w skali naturalnej obciążonych pionowo i prostopadłe do powierzchni.



Rys. 1. Schemat badań niezbrojonych (a) i zbrojonych (b) próbek na ściskanie ze zginaniem (wymiary w cm): 1– badana próbka, 2– stalowe przeguby, 3– siłownik hydrauliczny wywierający siłę ściskającą N , 4– opory, 5– trawers, 6– zbrojenie z siatek kompozytowych

2. Modele do badań i technika badań

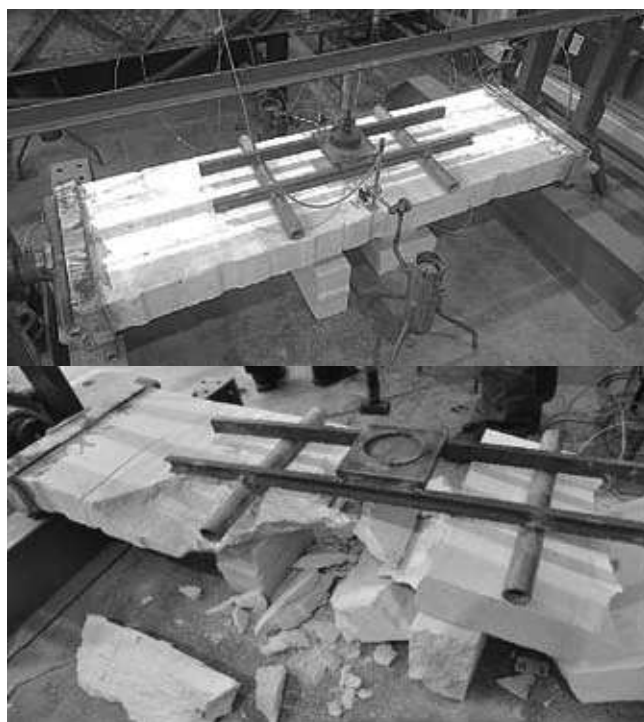
Modele o wymiarach $12 \times 50 \times 170$ cm wykonano z bloczków z betonu komórkowego firmy Solbet o wymiarach $12 \times 24 \times 59$ cm o masie objętościowej równej 600 kg/m^3 . Modele murowano na zaprawie firmy Solbet z niewypełnionymi spoinami czołowymi. Pięć modeli wykonano bez zbrojenia, natomiast kolejnych pięć ze zbrojeniem jednej bocznej powierzchni siatkami kompozytowymi. Do zbrojenia zastosowano siatki Mapegrid G220 z włókien szklanych firmy Mapei o wytrzymałości na rozciąganie 45 kN/m i wydłużeniu przy zerwaniu ok. 3%. Zamocowania siatek do powierzchni bocznej próbek wykonano na zaprawie cementowo-polimerowej Planitop HDM firmy Mapei.

Po jednej próbce zbrojonej i niezbrojonej zbadano na zginanie w celu określenia nośności M_{Rd} , natomiast po jednej próbce zbrojonej i niezbrojonej poddano obciążeniu ściskającemu osiowemu w celu określenia nośności N_{Rd} . Resztę próbek badano wg schematu na rysunku 1 na osiowe ściskanie podłużną siłą N i zginanie siłą P działającą prostopadle do płaszczyzny próbki. W trakcie trwania badania siłą N utrzymywano na stałym poziomie, natomiast siła zginająca P była o zmiennej wartości, począwszy od poziomu zerowego aż do zniszczenia próbki. Przekazywanie obciążeń N i P na próbki realizowano za pomocą dwóch niezależnych siłowników hydraulicznych.

Podczas badań za pomocą czynnika indukcyjnych mierzono maksymalne ugięcia w środku rozpiętości H próbek oraz za pomocą czynnika elektrooporowych deformację względną ε powierzchni bocznych próbek również w środku ich rozpiętości H . Przykładowy widok modelu podczas badań pokazano na rysunku 2.

3. Wyniki badań

W tabeli 1 podano podstawowe wyniki badań wszystkich próbek, natomiast na rysunku 3 podano wykresy ugięć próbek przy obciążeniu siłą osiową P dla różnych poziomów siły ściskającej N . Dla próbek „1” badano tylko zginanie, wartość momentu niszczącego wynosiła $M_{Rd}=0,39 \text{ kNm}$ dla próbek bez zbrojenia i $M_{Rd}=0,77 \text{ kNm}$ dla próbek ze zbrojeniem. Próbkę „5” badano tylko ściskanie, a wartości sił niszczących wynosiły odpowiednio $N_{Rd}=165,4 \text{ kN}$ dla próbki niezbrojonej i $N_{Rd}=178,9 \text{ kN}$ dla próbki ze zbrojeniem.



Rys. 2. Widok przykładowego modelu przed i po badaniu

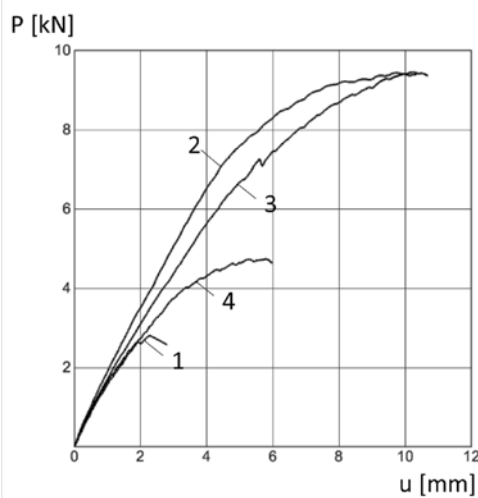
Dla pozostałych próbek podano wartości niszczących momentów zginających przy stałych wartościach siły ściskającej ustalonej na poziomie $N=0,25 N_{Rd}$ dla próbek oznaczonych „2”, $N=0,50 N_{Rd}$ dla próbek „3” i $N=0,75 N_{Rd}$ dla próbek „4”, przy czym dla potrzeb ujednoczenia badań za wartość N_{Rd} przyjęto siłę 160 kN .

Na rysunku 3 przytoczono wykresy ugięć „u” od oddziaływania siły P próbek zbrojonych dla różnych poziomów obciążenia siłą N . Nieliniowy przebieg ugięć przy poziomie siły P powyżej 70% od siły niszczącej P_n wynika z uplastycznienia strefy ściskanej próbek z betonu komórkowego. Przy poziomie siły ściskającej $N=0-0,25 N_{Rd}$ niszczenie próbek następowało na skutek rozerwania zbrojenia natomiast przy wyższych poziomach N – na skutek zmiążdżenia betonu komórkowego w strefie ściskanej. Z wykresów wynika również, że ściskanie osiowe próbek w poziomie $N=0,25-0,50 N_{Rd}$ powoduje znaczący wzrost niszczącej siły poprzecznej P .

Tabela 1. Wartość niszczących momentów zginających $M = \frac{P \cdot H}{6}$ w zależności od poziomu siły ściskającej N

Nr próbki		1	2	3	4	5
Próbki niezbrojone	M (kNm)	0,39	1,18	1,95	0,98	0
	N (kN)	0,0	40,0	80,0	120,0	165,4
Próbki zbrojone	M (kNm)	0,77	2,60	2,59	1,30	0
	N (kN)	0,0	40,0	80,0	120,0	178,9

Próbka 1 – badanie na zginanie w celu uzyskania M_{RD}
 Próbka 5 – badanie na ściskanie w celu uzyskania N_{RD}



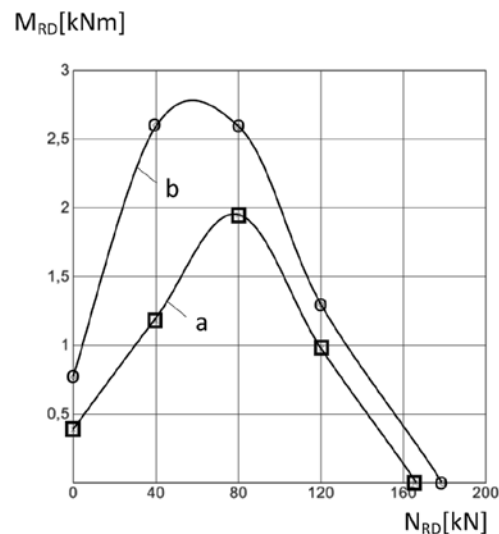
Rys. 3. Wykresy ugięć „u” w zależności od wartości siły P przy stałej sile ściskającej N (krzywa 1 dla $N=0$ kN; krzywa 2 dla $N=0,25 N_{RD}$; krzywa 3 dla $N=0,50 N_{RD}$; krzywa 4 dla $N=0,75 N_{RD}$)

4. Analiza uzyskanych wyników

Na rysunku 4 podano wykresy wzajemnej interakcji momentów zginających M_{RD} i sił ściskających N_{RD} otrzymane na podstawie wyników badań. Przy określaniu wartości momentów zginających pominięto siły masowe wynikające z ciężaru własnego badanych modeli. Siły te są jednak nieznaczne. Ciężar własny generuje moment zginający rzędu 0,12 kNm. Z wykresów uzyskanych z modeli zbrojonych i niezbrojonych wynika, że wraz ze wzrostem siły osiowej do poziomu N wynoszącej około $0,5 N_{RD}$ nośność próbek na zginanie wzrasta, a przy wyższym poziomie obciążenia osiowego nośność maleje. Istotne jest to, że próbki zbrojone wykazały większą nośność na zginanie przy ściskaniu niż próbki niezbrojone. Przy czym przy wartościach siły ściskającej w zakresie $(0,0-0,5)N_{RD}$ nośność na zginanie wzrosła około dwukrotnie (maksymalnie 120%), ale już powyżej tej wartości siły normalnej wzrost ten maleje do poziomu około 30%. W elementach tylko zginanych wzrost nośności spowodowany zastosowaniem zbrojenia wyniósł prawie 100%, natomiast w elementach podanych tylko ściskaniu zbrojenie spowodowało 8% wzrost nośności. Obserwowane różnicowanie wzrostu nośności murów zbrojonych przy różnych poziomach siły ściskającej wynika z mechanizmu zniszczenia próbek. Przy niższych wartościach siły N

zniszczenie następuje przez rozerwanie zbrojenia, natomiast przy wyższych poziomach obciążenia poprzez zmiżdżenie betonu komórkowego w strefie ściskanej. Można stąd wysnuć wniosek, że zbrojenie siatkami kompozytowymi ścian pracujących na ściskanie ze zginaniem jest efektywne przy stosunkowo niskich wartościach sił pionowych. Należałoby je zatem stosować w ścian działowych, ścianach wypełniających i ścianach budynków niskokondygnacyjnych.

5. Podsumowanie



Rys. 4. Wykres interakcji między M i N dla próbek niezbrojonych (krzywa a) i dla próbek zbrojonych (krzywa b)

Przedstawione powyżej badania pokazują, jak istotny jest wpływ siły pionowej na nośność ścian z betonu komórkowego, poddanych ściskaniu i obciążonych prostopadle do płaszczyzny. Zastosowanie zbrojenia wpływa pozytywnie na nośność modeli poddanych jednoczesnemu zginaniu i ściskaniu. Wpływ ten jest szczególnie istotny przy małych wartościach sił ściskających – do poziomu 50% nośności na ściskanie. Przy sile ściskającej równej $\frac{1}{4}$ nośności na ściskanie nośność modeli zbrojonych wzrosła o 120% w porównaniu do modeli bez zbrojenia.

Autorzy wyrażają podziękowanie firmom Solbet i Mapei za pomoc w realizacji badań doświadczalnych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN 1996-1-1 Eurokod 6, Projektowanie konstrukcji murowych. Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych
- [2] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A., Konstrukcje murowe według Eurokodu 6 i norm związanych. T. 2. PWN, Warszawa 2013
- [3] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A., Konstrukcje murowe według Eurokodu 6 i norm związanych. T. 1. PWN, Warszawa 2013
- [4] Orłowicz R., Jaworski R., Nowak R., Drobiec Ł., Efektywność zbrojenia siatkami kompozytowymi murowanych ścian zginanych z płaszczyzny. Przegląd Budowlany, nr 4, 2015, s. 22-24
- [5] Papanicolau C., Triantafyllou T., Fabregat P. R., Increase of load-carrying capacity of masonry with textile reinforced rendering. Mauerwerk, nr 19/2015, s. 40-51