mgr inż. Wojciech Mazur[1)*)]
dr hab. inż. Łukasz Drobiec[1)]
dr inż. Radosław Jasiński[1)]

Wpływ sposobu obciążenia na właściwości mechaniczne prefabrykowanych nadproży z ABK

Influence of the kind of loads on the mechanical parameters of prefabricated lintels made of AAC

DOI: 10.15199/33.2015.09.45

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań dwóch serii zbrojonych nadproży z betonu komórkowego badanych jako belki wolnopodparte. Trzy nadproża badano zgodnie z PN-EN 846-9 [5] i PN-EN 1356 [6], obciążając je dwoma siłami skupionymi, a dwa nadproża obciążano w sposób odwzorowujący ich rzeczywisty charakter pracy w ścianie – przez obciążenie trójkątne. Analizowano wpływ sposobu obciążenia na siłę niszczącą i ugięcie badanych elementów.

Słowa kluczowe: nadproża prefabrykowane, nośność na zginanie, ugięcie.

Abstract. In the article research of the influence of kind of load on the lintel load-bearing and distortion. Lintels were tested as simply supported beams. Three were loaded according to PN-EN 846-9 [5] and PN-EN 1356 [6] by two concentrated forces and two were loaded in way simulating realistic terms of work in wall – by triangular shape of load. The kind of loads influence on the strength and deflection were analyzed.

Keywords: prefabricated lintels, load bearing capacity, deflection.

Sposoby projektowania nadproży zostały przedstawione w pracach [1, 2, 3]. W przypadku każdego typu nadproża deklaracje dostarczane przez producenta muszą zawierać informacje podane w PN-EN 845-2 [4]. Z konstrukcyjnego punktu widzenia, najważniejsze informacje dotyczą nośności nadproża na zginanie i ścinanie oraz dopuszczalnego ugięcia. Wartości te można obliczyć, a następnie zweryfikować w badaniach. Zgodnie z PN-EN 846-9 [5] nadproża powinny być badane w schemacie belki jednoprzęsłowej wolnopodpartej obciążonej pionowo w sposób jak najbardziej zbliżony do występującego w rzeczywistej konstrukcji murowej. W przypadku badania nośności na zginanie norma dopuszcza zastosowanie obciążenia równomiernie rozłożonego lub układu dwóch bądź czterech sił skupionych o jednakowej wartości (badania cztero- lub sześciopunktowe). Przy badaniu nośności na ścinanie obciążenie powinno być przyłożone w odległości od podpory równej wysokości nadproża, powiększonej o 75 mm. Norma PN-EN 846-9 nie jest precyzyjna, dlatego w przypadku badania nadproży z ABK wykorzystuje się często starszą normę – PN-EN 1356:1999 [6], która zaleca zastosowanie obciążenia w postaci dwóch sił przyłożonych w odległości równiej ¼ rozpiętości mierzonej w osiach podpór. W tym wypadku stare przepisy [6] można stosować, ponieważ nie są sprzeczne z wytycznymi zawartymi w PN-EN 846-9.

Sposób obciążenia w badaniach prowadzonych zgodnie z PN-EN 846-9 oraz PN-EN 1356:1999 różni się od rzeczywistego działającego na nadproże. W przypadku, gdy nadproże znajduje się bezpośrednio pod wieńcem stropu, obciążenie może być zbliżone do równomiernie rozłożonego. Jeśli jednak nad nadprożem znajduje się mur, to w wyniku efektu przesklepienia łukowego obciążenie na nadproże przekazywane jest jedynie z pewnego obszaru muru znajdującego się nad nadprożem. W pracach [1, 7], zgodnie z normą DIN 1053-1 [8] zalecono, aby na etapie projektowania przyjmować obciążenie nadproża (poza ciężarem własnym) z obszaru trójkąta równobocznego (rysunek 1a), którego ramiona wyprowadzane są z teoretycznych punktów podparcia nadproża. Jeśli nad nadprożem znajdują się otwory, a ramiona trójkąta przecinają je, to należy je podnieść tak, aby nie przecinały obrysu otworu okiennego (rysunek 1b). W przypadku, gdy w strefie trójkąta równobocznego lub w jego bezpośrednim sąsiedztwie występuje siła skupiona (np. reakcja z belki), wówczas należy uwzględnić ją lub przyjąć zastępcze obciążenie równomiernie rozłożone (rysunek 1 c i d).

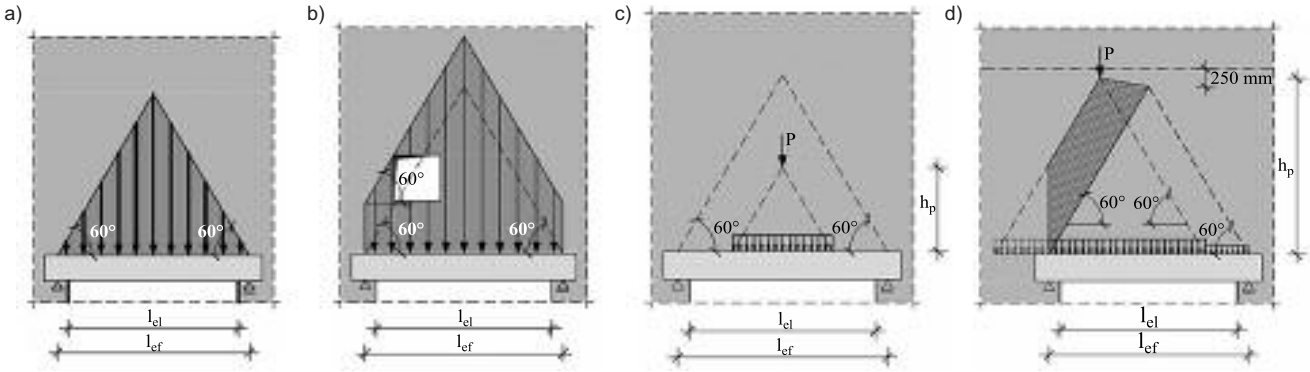
W praktyce projektowej siły wewnętrzne w nadprożach wyznacza się od zastępczych obciążeń pochodzących z trójkątnego obszaru nad nadprożem, a następnie porównuje się je z nośnościami deklarowanymi przez producentów, które określane są analitycznie i weryfikowane eksperymentalnie. Badania weryfikacyjne najczęściej prowadzi się na nadprożach, przyjmując schemat jednoprzęsłowej belki swobodnie podpartej, obciążonej dwoma siłami skupionymi. Brak jest więc konsekwencji między rzeczywistymi obciążeniami a wykorzystywanymi do badań kontrolnych (weryfikacyjnych).

W celu określenia różnic wyników uzyskanych w badaniach przy obciążeniu dwoma siłami skupionymi (wg procedury normowej) i wyników uzyskanych przy obciążeniach zbliżonych do rzeczywistych wykonano badania nośności na zginanie prefabrykowanych systemowych nadproży zbrojonych z betonu komórkowego firmy SOLBET obciążonych na dwa różne sposoby. Pierwszy sposób obciążenia był zgodny z zaleceniami PN-EN 846-9 oraz PN-EN 1356:1999 i polegał na przyłożeniu do nadproża dwóch równych co do wartości sił skupionych. Natomiast drugi autorski sposób symulował trójkątne obciążenie rozłożone i zrealizowany został przez przyłożenie do nadproża kilku sił skupionych o różnej wartości.

Modele i procedura badań

W badaniach zastosowano zbrojone systemowe nadproża, o prostokątnym poprzecznym przekroju, szerokości b = 180 i wysokości h = 240 mm oraz całkowitej dłu-

[1)] Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa
[*)] Autor do korespondencji:
e-mail: wojciech.mazur@polsl.pl

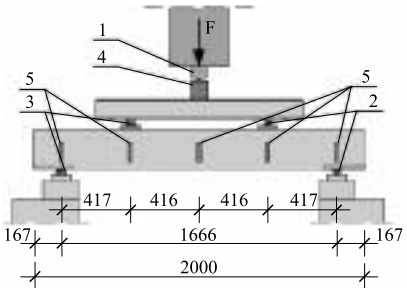


Rys. 1. Obciążenie nadproży przyjmowane na etapie projektowania (opis w tekście)
Fig. 1. Loads of lintels taken at the design stage (described in text)

gości 2000 mm, pozwalające na przekrycie otworu o rozpiętości w świetle 1500 mm. Zbrojenie podłużne nadproży stanowiły pręty żebrowane średnicy 8 mm (trzy pręty dołem oraz dwa górą). Procent zbrojenia podłużnego był równy 0,39%. Długość prostego zakotwienia prętów poza teoretyczną oś podpory wynosiła 9,5 średnicy zbrojenia podłużnego. Zbrojenie poprzeczne w postaci strzemion otwartych wykonano z prętów żebrowanych średnicy 4,5 mm. Strzemiona na całej długości elementu rozmieszczono w stałym rozstawie 150 mm. Procent zbrojenia strzemionami wynosił 0,12%. Zbrojenie podłużne oraz poprzeczne połączono przez zgrzewanie i pokryto antykorozyjną powłoką ochronną. Schemat zbrojenia nadproży pokazano na rysunku 2. Średnia wytrzymałość betonu komórkowego na ściskanie wynosiła $f_{c,\,mv}$ = 4,19 MPa, a średnia granica plastyczności stali prętów zbrojenia podłużnego $f_{y,\,mv}$ = 566 MPa.

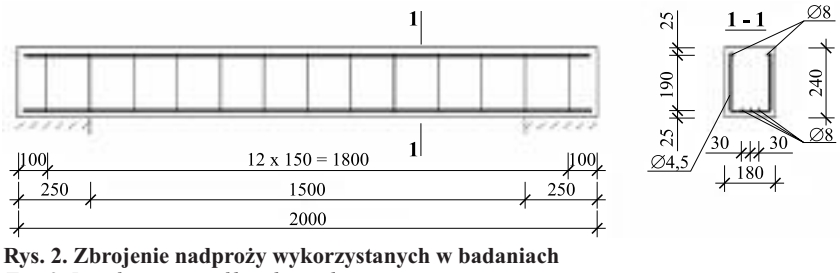
Program obejmował dwie serie elementów. W pierwszej, oznaczonej umownie jako A, badano trzy nadproża zgodnie z zaleceniami PN-EN 846-9 oraz PN-EN 1356:1999. W drugiej, oznaczonej jako B, wykonano badania nadproży metodą autorską odwzorowującą trójkątne obciążenie nadproża. Na potrzeby pierwszej serii badań skonstruowano stanowisko (fotografia 1) spełniające wymagania norm [5, 6], w którym elementy ustawiono na podporach przegubowych (jedna przesuwna, druga nieprzesuwna). Zgodnie z PN-EN 12602+A1:2013-11 [9], podpory rozmieszczono w odległości 1/3 długości strefy podparcia. Obciążenie wywoływane siłownikiem o zakresie 400 kN w postaci pary sił przykładano na górnej powierzchni elementu w 1/4 rozpiętości przęsła (rysunek 3). Siłę mierzono za pomocą siłomierza elektrooporowego o zakresie 50 kN. Obciążenie przykładano w czterech równych etapach w równych interwałach czasowych. Podczas badań odbywał się ciągły (odczyt co 0,5 s) pomiar obciążenia oraz przemieszczeń pionowych pięcioma indukcyjnymi przetwornikami przemieszczeń o dokładności 0,002 mm (trzy środkowe czujniki) oraz 0,001 (dwa skrajne czujniki nad podporami). Oprócz pomiarów sił i przemieszczeń dokonywano też rejestracji morfologii zarysowań przy wartościach obciążenia 10, 15 oraz 20 kN. W drugiej serii badań również wykorzystano schemat belki swobodnie podpartej (fotografia 2), przy czym obciążenie przykładano co 1/5 rozpiętości elementu (rysunek 4) przy użyciu ręcznych siłowników hydraulicznych o zakresie 160 kN. Siłę mierzono za pomocą trzech siłomierzy elektrooporowych o zakresie 50 kN umieszczonych nad środkowymi siłownikami oraz dwóch o zakresie 25 kN ustawionych na skrajnych siłownikach. Pomiaru przemieszczeń pionowych dokonano pięcioma indukcyjnymi przetwornikami przemieszczeń o dokładności 0,002 mm (trzy środkowe) oraz 0,001 (dwa skrajne nad podporami). Zgod-

Fot. 1. Stanowisko badawcze z badanym elementem – seria A *[Fot. Autorzy]*
Photo 1. The test stand – view with specimen – A series

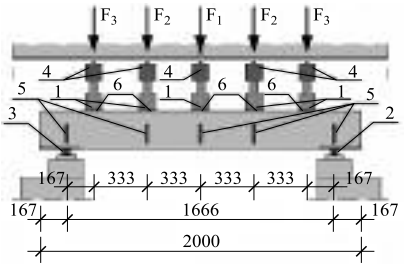


Rys. 3. Stanowisko badawcze – schemat statyczny elementów serii pierwszej (seria A): 1 – siłownik hydrauliczny; 2 – łożysko nieprzesuwne, 3 – łożysko przesuwne; 4 – siłomierz; 5 – indukcyjny przetwornik przemieszczeń (LVDT)
Fig. 3. The test stand – first series static diagram (A series): 1 – hydraulic jack; 2 – unmovable bearing; 3 – movable bearing; 4 – force gauge; 5 – displacement gauge (LVDT)

Fot. 2. Stanowisko badawcze z badanym elementem – seria B *[Fot. Autorzy]*
Photo 2. The test stand – view with specimen B – series



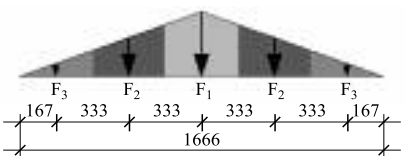
Rys. 2. Zbrojenie nadproży wykorzystanych w badaniach
Fig. 2. Reinforcement of lintels used in tests



Rys. 4. Stanowisko badawcze – schemat statyczny elementów serii drugiej (seria B): 1 – siłownik hydrauliczny; 2 – łożysko nieprzesuwne; 3 – łożysko przesuwne; 4 – siłomierz; 5 – indukcyjny czujnik przemieszczeń; 6 – podkładka teflonowa

Fig. 4. The test stand – second series static diagram (B series): 1 – hydraulic jack; 2 – unmovable bearing; 3 – movable bearing; 4 – force gauge; 5 – induction gauge; 6 – teflon path

nie z założeniami w drugiej serii badań przyjęto, że nadproża zostaną obciążone siłami skupionymi w sposób odwzorowujący trójkątne obciążenie rozłożone. W tym celu powierzchnię trójkątnego wykresu obciążenia podzielono na pięć stref (rysunek 5), a obciążenie z siłowników przykładano w środku podstaw każdej strefy. Wartość siły każdego siłownika odpowiadała obciążeniu przypadającemu na belkę z danej strefy. W każdym etapie obciążenia łączne wypadkowe w obydwu metodach były sobie równe. Pomiar przemieszczeń oraz kontrolę zarysowania prowadzono przy założonych poziomach obciążenia, a następnie co 0,5 s przed zniszczeniem elementu do momentu jego zniszczenia.

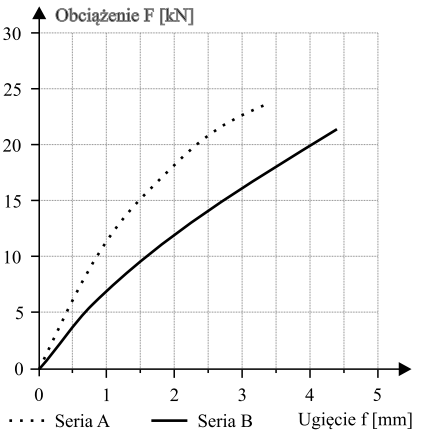


Rys. 5. Dyskretyzacja trójkątnego obciążenia rozłożonego siłami skupionymi

Fig. 5. Discretization of triangular distributed load with concentrated forces

Wyniki badań

Na rysunku 6 porównano uśrednione zależności obciążenie-przemieszczenie (ugięcie). W przypadku pierwszej serii, w której modele badano zgodnie z zaleceniami PN-EN 846-9 oraz PN-EN 1356:1999 maksymalna siła niszcząca wyniosła 26,47 kN, a średnia siła niszcząca uzyskana podczas badań trzech nadproży – 23,78 kN. Podobnie jak w przypadku wartości sił niszczących, wystąpiły różnice przemieszczeń odczytane przy siłach niszczących – 19,87 kN, 24,99 kN oraz 26,47 kN. Maksymalne ugięcie wyniosło 4,37 mm, natomiast minimalne – 2,38 mm. Średnie ugięcie było równe 3,37 mm, co stanowiło 1/494 rozpiętości teoretycznej.



Rys. 6. Porównanie uśrednionych w ramach serii zależności obciążenie – ugięcie

Fig. 6. Comparison of the average relationships of load – deflection

W przypadku drugiej serii, w której nadproża badano pod obciążeniem trójkątnym, maksymalna siła niszcząca wyniosła 21,85 kN, a średnia siła niszcząca z dwóch nadproży – 21,42 kN. Ugięcia odczytane przy maksymalnych siłach były równe 4,53 i 4,22 mm.

Bez względu na sposób przyłożenia obciążeń mechanizm zarysowania był identyczny. Niemal jednocześnie powstały zarysowania wywołane zginaniem (rysy prostopadłe do osi elementu w połowie rozpiętości) oraz ścinaniem (ukośne rysy w strefach przypodporowych). W chwili zniszczenia ukośnemu zarysowaniu uległa jedna ze stref przypodporowych, a następnie nastąpiła utrata przyczepności prętów zbrojenia podłużnego nad podporą. Uzyskane wartości sił niszczących oraz momentów zginających i sił poprzecznych przedstawiono w tabeli.

Wyniki badań

Research results

Seria	Element	Sumaryczna siła niszcząca F_u [kN]	Średnia siła niszcząca $F_{u,mv}$ [kN]	Średni moment zginający przy sile niszczącej $M_{u,mv}$ [kNm]	Średnia maksymalna siła poprzeczna przy sile niszczącej $V_{u,mv}$ [kN]
A	A-1	19,87	23,78	4,95	11,89
	A-2	24,99			
	A-3	26,47			
B	B-1	21,85	21,43	6,23	11,56
	B-2	21,00			

Podsumowanie

Maksymalne siły niszczące z badań nadproży, obciążonych w dwojaki sposób różniły się o 17,5%, przy czym większe wartości uzyskano metodą normową. Natomiast różnica średnich sił niszczących z obydwu serii badań elementów wyniosła 11%. Podkreślić należy, że zniszczenie elementów wynikało z utraty nośności na ścinanie, przy nieznacznym zarysowaniu spowodowanym zginaniem. Sądzić więc można, że procedura weryfikacji nośności nadproży na zginanie polegająca na badaniu czteropunktowym może dawać zawyżone wartości siły niszczącej w stosunku do wartości rzeczywistej, a w konsekwencji prowadzić do niebezpiecznego przeszacowania nośności (w badaniach weryfikacyjnych). Maksymalne ugięcie w obydwu seriach było podobne. Nieco większe (o 3,5%) uzyskano, stosując metodę autorską. Należy jednak podkreślić, że w chwili zniszczenia ugięcie wynosiło zaledwie 1/700 – 1/381 l_{eff} (seria pierwsza) oraz 1/368 – 1/395 l_{eff} (seria druga), a więc znacznie mniej, niż dopuszczają normy projektowania w przypadku nadproży (1/200 l_{eff}).

Autorzy badań wyrażają podziękowania firmie Solbet Sp. z o.o. za podjęcie współpracy z Katedrą Konstrukcji Budowlanych oraz merytoryczną i materialną pomoc przy realizacji badań konstrukcji murowych.

Literatura

[1] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A.: Konstrukcje murowe według Eurokodu 6 i norm związanych. Tom II. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2014.

[2] Gajownik R., Jarmontowicz R., Sieczkowski J.: Projektowanie nadproży w konstrukcjach murowych, Materiały Budowlane, nr 4/2015, s. 20 – 23.

[3] Jasiński R., Drobiec Ł., Piekarczyk A.: Mury poddane zginaniu w ujęciu PN-EN 1996-1-1:2006. Ściany zginane w płaszczyźnie. Materiały Budowlane, nr 6/2009, s. 70 – 72.

[4] PN-EN 845-2:2013-10 Specyfikacja wyrobów dodatkowych do murów. Część 2: Nadproża.

[5] PN-EN 846-9:2002 Metody badań wyrobów dodatkowych do wznoszenia murów. Część 9: Określenia nośności na zginanie i ścinanie belek nadprożowych.

[6] PN-EN 1356:1999 Badanie właściwości użytkowych elementów zbrojonych z autoklawizowanego betonu komórkowego lub betonu lekkiego kruszywowego o otwartej strukturze przy zginaniu.

[7] Hoła J., Pietraszek P., Schabowicz K.; Obliczenia konstrukcji budynków wznoszonych tradycyjnie. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne. Wrocław 2006.

[8] DIN 1053-1:1996-11: Mauerwerk. Teil 1: Berechnung und Ausführung.

[9] PN-EN 12602+A1:2013-11 Prefabrykowane elementy zbrojone z autoklawizowanego betonu komórkowego.

Przyjęto do druku: 24.07.2015 r.