

Tematyka prezentowanego artykułu była omawiana podczas V Międzynarodowej Konferencji „Autoklawizowany Beton Komórkowy”, która odbyła się w Bydgoszczy.

dr inż. Hossein Fadaifard*
dr inż. Ali Abu Yousef
mgr inż. Patrick Harkin
prof. dr inż. Richard E. Klingner*

Wytrzymałość nadproży ze zbrojonego ABK

Capacity of autoclaved aerated concrete lintels as governed by bond and anchorage

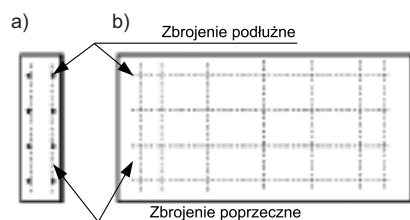
Streszczenie. Komitet 523 (Beton Komórkowy) ACI International (USA) opracował ACI 523.4R-09 – wytyczne do projektowania prefabrykowanych, zbrojonych elementów z autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK) uwzględniające ich wytrzymałość na zginanie, wytrzymałość na ścinanie oraz sposób zakotwienia zbrojenia. W artykule wytyczne te poddano ocenie na podstawie badań nadproży z ABK. Potwierdzono znaczenie sposobu wykonywania i wytrzymałości złączy oraz zakotwienia szkieletów zbrojeniowych.

Słowa kluczowe: ABK, zakotwienie zbrojenia, autoklawizowany beton komórkowy, złącza zbrojenia, nadproża; projektowanie.

Abstract. Committee 523 (Cellular Concrete) of ACI International (USA) has finished ACI 523.4R-09, a guide for structural design and construction with factory-reinforced AAC panels. That guide included design provisions for factory-reinforced AAC elements for flexure, shear and anchorage. In this paper the design provisions are evaluated using test data on the behavior of AAC lintels. Based on those comparisons, general observations are made on the behavior of AAC lintels whose behavior is governed by combinations of bond and anchorage.

Keywords: AAC, anchorage, autoclaved aerated concrete, bond, lintels, design.

W prefabrykowanych, zbrojonych elementach z ABK powszechnie stosuje się zespane ze sobą ułożone podłużnie i poprzecznie stalowe pręty. Typowy sposób wykonania szkieletu zbrojenia w nadprożach z ABK pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Typowe zbrojenie poprzeczne i podłużne w nadprożach z ABK: a) przekrój poprzeczny; b) przekrój podłużny

Projektowanie nadproży z ABK wg ACI 523.4R-09

W Stanach Zjednoczonych założenia projektowe prefabrykowanych zbrojonych elementów z ABK zawarte są w ACI 523.4R-09 [1].

Wytrzymałość na zginanie. Nominalna wytrzymałość na zginanie wynika z liniowego rozkładu odkształceń z prostokątnym wy-

kresem naprężeń w strefie ściskanej i wypadkową siłą ściskającą oznaczoną jako F_{AAC} :

$$F_{AAC} = (0,85 \cdot f'_{AAC}) \cdot (\beta_1 \cdot c) \cdot b$$

gdzie:

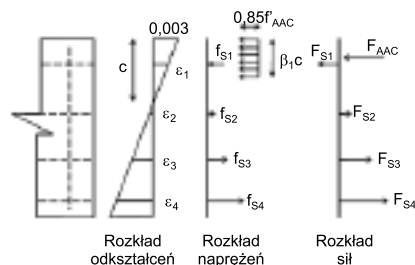
f'_{AAC} – wytrzymałość ABK na ściskanie;

c – odległość od krawędzi ściskanej do osi obojętnej;

b – szerokość przekroju ABK;

β_1 – współczynnik opisujący położenie środka ciężkości równoważnego prostokątnego wykresu naprężeń ściskających ($\beta_1 = 0,67$).

Rozkład odkształceń, naprężeń oraz sił w ABK przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Odkształcenia, naprężenia i rozkład sił w ABK

Wytrzymałość na ścinanie oblicza się jako sumę wytrzymałości na ścinanie samego ABK (V_{AAC}) oraz zbrojenia ułożonego równoległe do kierunku ścinania (V_s). Wartość V_s bierze się pod uwagę jedynie wówczas, gdy pręty poprzeczne są przy-

spawane do podłużnych. Przyjmuje się, że wytrzymałość na ścinanie ABK jest co najmniej równa ścinaniu potrzebnemu do powstania ukośnego pęknięcia.

Wytrzymałość zakotwienia prętów podłużnych w ABK jest mała. Należy podkreślić, że zakotwienie prętów podłużnych zależy przede wszystkim od prętów poprzecznych i dlatego, zgodnie z założeniami zawartymi w ACI 523.4R-09 [1], w wytrzymałości na ścinanie można uwzględnić zbrojenie poprzeczne tylko wówczas, jeżeli jest ono przyspawane do podłużnego.

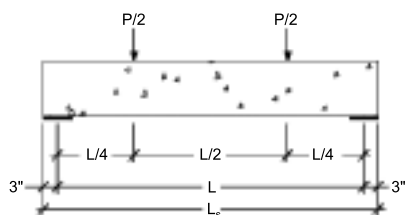
Wytrzymałość na ścinanie uwzględniająca zbrojenie poprzeczne przyjmowana jest jako suma naprężeń dopuszczalnych prętów krzyżujących się z hipotetycznym pęknięciem w wyniku ścinania pod kątem 45°.

Badania elementów ze zbrojonego ABK

W opublikowanych pracach Sella i Zelgera (1970) [6], Regana (1979) [4, 5] oraz Boutrosa i Saverimutto (1997) [2] podano zalecenia dotyczące obliczeń belek i nadproży ze zbrojonego ABK oraz zaproponowano wartości wytrzymałości łączenia prętów zbrojenia (u) oraz współczynnika zakotwienia zbrojenia (α).

* University of Texas, Austin, USA

Badania nadproży na University of Texas w Austin. Przeprowadzono 6 różnych serii nadproży z ABK, obciążonych jak pokazano na rysunku 3. Zestawienie wymiarów badanych nadproży oraz wyniki uzyskane dla każdej serii zostały przedstawione w tabeli.



Rys. 3. Nadproże z ABK z widocznymi punktami podparcia i obciążeniami poddane badaniu na University of Texas, Austin

Na podstawie badań przyjęto, że ukośne pęknięcie rozpoczyna się w jednym z punktów podparcia i biegnie w kierunku miejsca przyłożenia obciążenia. Założono, że naprężenia w prętach zbrojenia podłużnego przecinających pęknięcie mają wartość zero w osi obojętnej i zmieniają się liniowo. Można się spodziewać pewnej redystrybucji naprężeń w zbrojeniu poprzecznym, dlatego przyjmuje się, że naprężenie w prętach poprzecznych jest jednakowe w obszarze pęknięcia. Zależność naprężenie-odkształcenie zależy od sztywności prętów zbrojenia oraz od sprężystości podłużnej ABK przy ściskaniu. Zakłada się, że strefa plastyczna jest determinowana miażdżeniem ABK spowodowanym położeniem prętów zbrojenia poprzecznego.

W najniższym przecię podłużnym (pręt rozciągany położony najdalej od osi obojętnej) występują największe naprężenia rozciągające. W rozpatrywanym obszarze (w rejonie podparcia, na końcu nadproża) pręt ten ma także najmniejszą liczbę spawanych połączeń z prętami poprzecznymi, dlatego przyjmuje się, że osiąga on swoją wytrzymałość zakotwienia przy maksymalnym obciążeniu. Zgodnie z postano-

wieniami ACI 523.4R-09 [1], naprężenia ściskające w ABK są aproksymowane za pomocą równoważnego prostokątnego wykresu naprężeń. Równowagę w strefie podporowej na rysunku 4 opisuje równanie:

$$\beta_1 \cdot c \cdot b (0,85 \cdot f'_{AAC}) - \sum_{i=1}^{N_{long}} F_i = 0$$

gdzie:

F_i – siła w przecię podłużnym i ;

N_{long} – liczba prętów podłużnych.

Stan równowagi na rysunku 4 określony jest zależnością:

$$\frac{P}{2} - \sum_{i=1}^{N_{trans}} V_i - V_{AAC} = 0$$

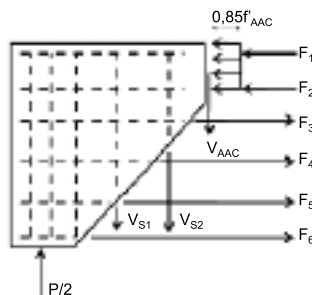
gdzie:

V_i – siła w przecię zbrojenia poprzecznego i ;

V_{AAC} – wytrzymałość na ścinanie ABK;

P – całkowite obciążenie nadproża, przyłożone symetrycznie;

N_{trans} – liczba poprzecznych prętów przeciętych przez pęknięcie.



Rys. 4. Rozkład sił wewnętrznych w przekroju ukośnym (pęknięcie nadproża) w strefie podporowej

Stan równowagi w punkcie A na rysunku 5 określa równanie:

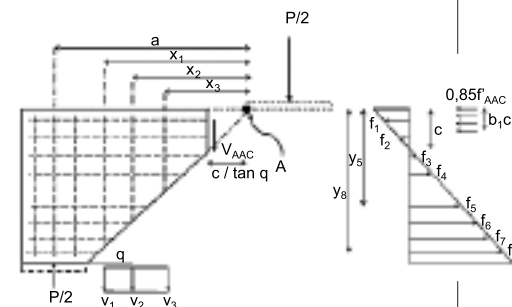
$$\left(\sum_{i=1}^{N_{long}} F_i \cdot y_i \right) - (\beta_1 \cdot c \cdot 0,85 \cdot f'_{AAC} \cdot b) \frac{\beta_1 \cdot c}{2} + \left(\sum_{i=1}^{N_{trans}} V_i \cdot x_i \right) + V_{AAC} \cdot \frac{c}{\tan \theta} - \frac{P}{2} \cdot a = 0$$

gdzie:

y_i – odległość w pionie od krawędzi ściskanej do osi prętów zbrojenia podłużnego i , (rysunek 5);

θ – kąt pomiędzy pęknięciem a poziomem;

a – długość strefy ścinanej nadproża (do krawędzi płyty przekazującej obciążenie);
 x_i – odległość, w poziomie, od krawędzi płyty przekazującej obciążenie do osi pręta zbrojenia poprzecznego i , (rysunek 5).



Rys. 5. Równowaga strefy podporowej nadproża

Przedstawione trzy równania równowagi zawierają następujące niewiadome:

- położenie osi obojętnej c ;
- siłę w prętach poprzecznych V_i ;
- wytrzymałość nadproża P .

Te niewiadome (zgodnie z [3]) to u i α , gdzie:

- u – wytrzymałość połączeń prętów zbrojenia;
- α – współczynnik zakotwienia zbrojenia.

Podsumowanie

Przy projektowaniu zbrojenia belek i nadproży ze zbrojonego ABK zaleca się korzystać z parametrów zakotwienia zalecanych w założeniach projektowych ACI 523.4R-09 [1]. Wytrzymałość połączeń prętów zbrojenia należy pomijać ($u = 0$), a nośność zbrojenia poprzecznego w ABK należy przyjmować jako równą f_{AAC} ($\alpha = 1$).

Literatura

- [1] ACI 523.4R-09, 2009. ACI Committee 523, „Guide for Design and Construction with Autoclaved Aerated Concrete Panels (ACI 523.4R-09),” American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
- [2] Boutros M., Saverimutto L., 1997. Anchorage Capacity of Reinforcing Bars in Autoclaved Aerated Concrete Lintels, Materials and Structures, Nov., 552-557.
- [3] Fadaifard H., 2008. Capacity of Autoclaved Aerated Concrete Beams and Lintels as governed by Bond and Anchorage.
- [4] Regan P. E., 1979. Shear in Aerated Concrete, MS Report, Department of Civil Engineering, The University of Texas, Austin, Texas.
- [5] Regan P. E., 1979. Shear in Aerated Concrete, The International Journal of Lightweight Concrete, Vol. 1, No. 2, 47 – 61.
- [6] Sell R., Zelger C., 1979. Versuche über den Verbund bei bewehrtem Gasbeton („Tests of anchorage in reinforced gas concrete”), Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 209, 41 – 63.

Wyniki badań nadproży ze zbrojonego ABK przeprowadzonych na University of Texas, Austin

Seria nadproży	Nadproże (grubość x wysokość x długość) cale (m)	Liczba próbek w każdej serii	Maksymalne obciążenie	
			Wartość kilofunty (kN)	Współczynnik zmienności [%]
12-072	8 x 12 x 72 (0,20 x 0,30 x 1,83)	17	19,04 (84,69)	7,69
12-096	8 x 12 x 96 (0,20 x 0,30 x 2,44)	7	14,72 (65,47)	4,88
12-120	8 x 12 x 120 (0,20 x 0,30 x 3,05)	6	11,31 (50,31)	3,90
24-072	8 x 24 x 72 (0,20 x 0,60 x 1,83)	10	43,14 (191,9)	6,52
24-096	8 x 24 x 96 (0,20 x 0,60 x 2,44)	11	39,44 (175,4)	6,65
24-120	8 x 24 x 120 (0,20 x 0,60 x 3,05)	8	39,31 (174,9)	5,86
	Całkowita liczba przebadanych próbek	59		