

W artykule *Metoda projektowania elementów ze zbrojonego ABK*, którego tematyka została zaprezentowana podczas V Międzynarodowej Konferencji *Autoklawizowany Beton Komórkowy* (2011 r., Bydgoszcz), przedstawiono metody obliczania wytrzymałości, ugięcia i sztywności elementów ze zbrojonego autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK).

dr hab. inż. Victor Vylegzhanin*
dr hab. inż. Vadim Pinsker*

Metoda projektowania elementów ze zbrojonego ABK

Design method of reinforced autoclaved aerated concrete elements

Prowadzone w Centrum Betonu Komórkowego w Petersburgu od ponad 50 lat badania nad rozwojem teorii wytrzymałości oraz odkształcalnością autoklawizowanego betonu komórkowego, a także wykonanych z niego konstrukcji były możliwe dzięki doświadczeniu uzyskanemu w wytwórniach autoklawizowanego betonu komórkowego (w latach sześćdziesiątych XX w. została zakupiona w Polsce pierwsza fabryka). Wieloletnie badania wytrzymałości elementów ze zbrojonego betonu komórkowego potwierdziły, że nie można bezpośrednio stosować zależności, które obowiązują w przypadku konstrukcji żelbetowych [1 – 3]. Stały się one podstawą do wprowadzenia zależności dla różnych rodzajów stanów naprężeń w konstrukcjach zbrojonych i niezbrojonych z autoklawizowanego betonu komórkowego [4]. Umożliwiło to rozbudowanie metody wykonywania obliczeń, np. nośności, zarysowań i ugięć obciążonych poprzecznie płyt ze zbrojonego betonu komórkowego, bez konieczności wykorzystywania współczynników empirycznych [5, 6].

Wytrzymałość belek z betonu komórkowego można określić z warunku:

$$M \leq M_{ult}$$

gdzie:

M_{ult} – moment zginający niszczący;
 M – obliczeniowy maksymalny moment zginający dla belki swobodnie podpartej, określany wg wzoru:

$$M = \frac{qb_0^2}{8} \quad (1)$$

gdzie:

q – równomiernie rozłożone obciążenie, zawierające ciężar własny stropu;
 b – szerokość płyty;
 b_0 – rozpiętość teoretyczna płyty.

Zniszczenie następuje przez powstanie zarysowań wg dwóch schematów:

- na skutek uplastycznienia lub pęknięcia zbrojenia bez uszkodzenia strefy ściskanej betonu komórkowego lub uszkodzenia betonu komórkowego po znacznym uplastycznieniu zbrojenia (odkształcenie powyżej 10/50);

- na skutek rozpadu i przełomu kruchej strefy ściskanej bez istotnych odkształceń plastycznych (nieliniowych) zbrojenia rozciąganego.

Moment niszczący można określić, wykorzystując zależność:

$$M_{ult} = \sqrt{\frac{3}{7}} R_b b h_0^2 \left[\xi \left(1 - \frac{\xi}{3} \right) + \sqrt{\frac{7}{3}} \mu' \frac{R_{sc}}{R_b} (1 - \delta') \right] \quad (2)$$

gdzie:

- przy zniszczeniu zbrojenia;

$$\xi = \xi_{arm} = \frac{x}{h_0} = \sqrt{\frac{7}{3}} \mu' \frac{R_s}{R_b} (1 - f_s r_s) \quad (3)$$

- przy zniszczeniu betonu

$$\xi = \xi_b = \mu \alpha (1 + f_s r_s) \left[\sqrt{1 + \frac{2(1 + f_s r_s \delta')}{\mu \alpha (1 + f_s r_s)^2}} - 1 \right] \quad (4)$$

gdzie:

$$f_s = \frac{A'_s}{A_s} = \frac{A'_s}{bh_0}; \frac{A_s}{bh_0} = \frac{\mu'}{\mu}; r_s = \frac{R_{sc}}{R_s} = \frac{\sigma'}{\sigma_T}; \delta' = \frac{a'}{h_0}; \alpha = \frac{E_s}{E_b}$$

gdzie:

A'_s – powierzchnia przekroju zbrojenia ściskanego;
 A_s – powierzchnia przekroju zbrojenia rozciąganego;

R_{sc} – wytrzymałość obliczeniowa zbrojenia ściskanego;

R_s – wytrzymałość obliczeniowa zbrojenia rozciąganego;

R_b – wytrzymałość obliczeniowa betonu komórkowego ($p = 0,997$), pomnożona przez współczynnik 0,85, o wilgotności masowej co najmniej 25% oraz oddziałującym długotrwałe obciążeniu o współczynniku 0,85;

σ' – naprężenie w zbrojeniu ściskanym;

σ_T – granica plastyczności zbrojenia;

a' – odległość pomiędzy górną granicą przekroju a osią zbrojenia ściskanego;

E_s – moduł sprężystości zbrojenia;

E_b – pierwotny moduł sprężystości betonu komórkowego;

μ' – współczynnik strefy ściskania zbrojenia
 μ – współczynnik strefy rozciągania zbrojenia;

h_0 – głębokość efektywna (odległość pomiędzy górną krawędzią przekroju i osią zbrojenia rozciąganego).

W przypadku gdy $\xi_{arm} > \xi_b$ następuje zniszczenie betonu komórkowego, a gdy $\xi_{arm} < \xi_b$ następuje zniszczenie zbrojenia, natomiast jeżeli $\xi_{arm} = \xi_b$ jednoczesne zniszczenie betonu komórkowego oraz zbrojenia.

Ugięcie jest obliczane z uwzględnieniem obciążeń stałych i długotrwałych. Obliczenie ugięcia wywołanego obciążeniami długotrwałymi może uwzględniać pełzanie betonu komórkowego. Ugięcie zależy od sztywności płyty. Minimalną sztywność płyty w przekroju nad rysą można określić za pomocą wzoru:

$$B_{min} = E_b \cdot b \cdot h_0^3 \cdot e \quad (5)$$

gdzie:

$$e = \frac{\xi_b^3}{3} + \mu \alpha \left[(1 - \xi_b)^2 + f_s (\xi_b - \delta')^2 \right] \quad (6)$$

ξ_b – zgodnie z wzorem (4).

Sztywność maksymalna (przekrój pomiędzy rysami):

* Centrum Betonu Komórkowego, Petersburg

$$B_{max} = E_b b h^3 e_1 \quad (7)$$

gdzie:

h – wysokość przekroju (grubość płyty)

$$e_1 = \frac{1}{12} + (\xi_1 - 0,5)^2 + \mu_1 \alpha [(1 - \xi_1 - \delta_1)^2 + f_s (\xi_1 - \delta_1')^2] \quad (8)$$

gdzie:

$$\xi_1 = \frac{x}{h} = \frac{\mu_1 \alpha (1 - \delta_1 + f_s \delta_1') + 0,5}{1 + \mu_1 \alpha (1 + f_s)} \quad (9)$$

$$\mu_1 = \frac{A_s}{bh}; \quad \delta_1 = \frac{a}{h}; \quad \delta_1' = \frac{a'}{h}$$

α – odległość pomiędzy dolną krawędzią przekroju a osią zbrojenia rozciąganego.

Sztywność w momencie zginającym M można określić z wzoru:

$$B = B_{max} \Psi \quad (10)$$

gdzie:

$$\Psi = 1 - \left(1 - \frac{B_{min}}{B_{max}} \right) \frac{M_n - M_{cr}}{M_{ult} - M_{cr}} \quad (11)$$

$$M_n = \frac{M}{1,2} \quad (12)$$

M_{ult} – moment niszczący zgodnie z wzorem (2);

gdzie $\xi_{arm} = \xi_b$ – zgodnie z wzorem (4);

M_{cr} – moment rysujący

$$M_{cr} = \frac{R_{btm} b h^2 e_1}{j} \quad (13)$$

e_1 – zgodnie z wzorem (8);

R_{btm} – normowa wytrzymałość na rozciąganie ($p = 0,95$) betonu komórkowego;

$$j = \sqrt{\frac{1}{12} - 0,5(\xi_1 - 0,5)} \quad (14)$$

Ugięcie f elementów zbrojonych, uwzględniające pełzanie, można określić, wykorzystując zależność:

$$f = f_1 + 0,6f_2 \quad (15)$$

gdzie:

f_1 – ugięcie dla obciążenia ciężarem własnym określone wzorem

$$f_1 = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_d \cdot b \cdot l_0^4}{B}$$

f_2 – ugięcie dla obciążenia długotrwałego określone wzorem:

$$f_2 = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{dl} \cdot b \cdot l_0^4}{B}$$

q_d – ciężar własny obliczony wg wzoru:

$$q_d = 1,1 \cdot h \cdot D + 0,833p$$

q_{dl} – obciążenie długotrwałe, obliczone wg wzoru

$$q_{dl} = 1,1 \cdot h \cdot D + p_1$$

gdzie:

$p_1 = 50 + 30 = 80$ – część długotrwałych obciążeń użytkowych dla budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej;
 D – klasa gęstości.

Ugięcie płyt wykonanych z betonu komórkowego nie może przekroczyć maksymalnej dopuszczalnej wartości

$$\frac{l_0}{f} \geq 200$$

Szerokość rozwarcia rys można określić za pomocą wzoru:

$$a_{crc} = \frac{M_n h_0^2}{B_{min}} (1 - \xi_b)^2 \cdot 1,6 \quad (16)$$

ξ_b – zgodnie z wzorem (4);

B_{min} – zgodnie z wzorem (5);

$$M_{crc} = \frac{R_{bt} b h^2 e_1}{\sqrt{\frac{1}{3} - 0,5\xi_1}} \quad (17)$$

gdzie:

R_{bt} – obliczeniowa wytrzymałość na rozciąganie ($p = 0,999$) betonu komórkowego;

e_1 – zgodnie z wzorem (8);

ξ_1 – zgodnie z wzorem (9).

Odległość początku rysy od osi podparcia a_i można określić za pomocą wzoru:

$$a_i = \frac{M_{crc}}{Q_{max}} \quad (18)$$

Obliczenie wytrzymałości przekrojów podporowych jest uzależnione od warunku

$$Q_{max} \leq Q_{ult} \quad (19)$$

gdzie:

$$Q_{max} = \frac{q b l_0}{2} \quad (20)$$

$$Q_{ult} = \frac{R_b b h_0 \xi}{\sqrt{\frac{21(a_{sh}/h_0)^2}{(3 - \xi_b)^2} + 1,7}} \quad (21)$$

gdzie:

$a_{sh} = a_i + h_0$;

ξ_b – zgodnie z wzorem (4).

Wymagane zbrojenie podłużne należy określić przy uwzględnieniu:

$$N_a = \frac{Q_{min} \cdot \left(\frac{a_i}{h_0} + 1 \right)}{1 - \frac{\xi}{3}} \quad (22)$$

gdzie:

ξ_b – zgodnie z wzorem (4), Q_{max} – zgodnie z wzorem (18).

Siłę przenoszoną przez pręty kotwiące można określić wg zależności:

$$N_{an} = n \cdot (5 \cdot n_a \cdot d_a^2 \cdot R_b \sqrt[3]{\alpha} + 2,5 \cdot a_i \cdot R_{bt} \cdot \pi \cdot d) \quad (23)$$

gdzie:

n_a – liczba poprzecznych prętów kotwiących;

d_a – średnica poprzecznych prętów kotwiących;

n – liczba podłużnych prętów kotwiących;

d – średnica podłużnych prętów kotwiących.

Zakotwienie jest uważane za wystarczające, jeżeli $N_a \leq N_{an}$. Wzory te są wykorzystywane do opracowywania rysunków wykonawczych płyt

stropowych i dachowych do budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej.

Streszczenie

Przedstawiono metodę obliczania wytrzymałości, rysoodporności i odkształcalności elementów ze zbrojonego ABK. Metoda została opracowana na podstawie wieloletnich doświadczeń i badań. Wyniki obliczeń wg tej metody są zgodne z wynikami uzyskiwanymi w badaniach.

Abstract

The article presents calculation method of flexural strength, crack resistance and deformation of reinforced autoclaved aerated concrete elements. The method was worked out based on many years of experiences and researches. Results of calculations according to this method are consistent with results obtained in researches.

Literatura

- [1] Pinsker V., 1980. Gradient to increase the strength of aerated concrete in the moment theory of elasticity and load-carrying capacity decks with double reinforcement. [In:] Study aerated concrete structures and their use in construction engineering. Leningrad, 49 – 64.
- [2] Pinsker V., 1983. Improving calculating methods of the strength of structures from autoclaved aerated concrete. [In:] Aerated concrete in construction engineering. Leningrad, 47-56.
- [3] Pinsker V., 1985. Work of aerated concrete structures on the transverse force and the formation of cracks. [In:] Design and calculation of building structures. Leningrad, 33 – 42.
- [4] Pinsker V., 1991. Problems of improve-ment the use and analysis autoclaved aera-ted concrete structures of for construction engineering. [In:] The application of aerated concrete in construction engineering. Leningrad, 45 – 52.
- [5] Standard of Builders Association of Rus-sia. Design and construction of building envelope for residential and public buildings with the use of aerated concrete in the Russian Federation. STO 501-52-01-2007. Official pu-blication. Moscow. 2008. The Center of aera-ted concrete. Vylegzhanin V., Pinsker V. Part I – 42, Part II – 55.
- [6] Regional standard. Design and construc-tion of building envelope for residential and public buildings with the use of aerated con-crete in St. Petersburg RMD 52-01-2007. Part II. Official publication. The administra-tion of St. Petersburg. 2007. The Center of aerated concrete. Vylegzhanin V., Pinsker V.