

dr inż. Mariusz Zych¹⁾

Korekta maksymalnej średnicy zbrojenia oraz maksymalnego rozstawu prętów zbrojeniowych jako uzupełnienie metody uproszczonej kontroli zarysowania wg PN-EN 1992-3

Corrections of the maximum reinforcement bar diameter and the maximum bar spacing as a supplement to the simplified method of cracks control according to PN-EN 1992-3

DOI: 10.15199/33.2015.09.18

(Oryginalny artykuł naukowy)

Streszczenie. W artykule przedstawiono i skomentowano postanowienia PN-EN 1992-3 dotyczące kontroli zarysowania i szerokości rys metodą uproszczoną. Zaprezentowano pochodzenie zależności pomiędzy maksymalnym rozstawem prętów zbrojeniowych a dopuszczalnym naprężeniem w stali zbrojeniowej przy ustalonej szerokości rysy. Ponadto przedstawiono wpływ grubości otulenia na maksymalny rozstaw prętów zbrojeniowych s_z^{*max} . Wyznaczono wartości korekcyjne Δs_i w stosunku do wykresu 7.104N, dzięki którym w sposób uproszczony można określić wielkość s_z^{*max} w przypadkach innych niż zdefiniowano w PN-EN 1992-3.

Słowa kluczowe: kontrola zarysowania, zbiornik żelbetonowy, średnica zbrojenia, rozstaw zbrojenia.

Abstract. This article presents and comments the provisions of PN-EN 1992-3 in the field of cracks control and crack width according to simplified method. The origin of the relationship between the maximum bar spacing of the reinforcement and acceptable stress level, at a assumed crack width, was presented. In addition, the influence of concrete cover thickness on the maximum bar spacing s_z^{*max} was presented. The correction values Δs_i were determined in relation to figure 7.104N, whereby in a simplified manner the values of s_z^{*max} can be calculated for other cases than those defined in PN-EN 1992-3.

Keywords: crack control, RC tank, maximum bar diameter, bar spacing.

Z względu na dużą różnorodność konstrukcyjnych rozwiązań zbiorników oraz zróżnicowaną ich funkcję [1, 2] spełnienie warunku szczelności, gdy nie są przyjmowane inne rozwiązania konstrukcyjne (np. sprężenie), polega na ograniczeniu szerokości rys [3]. W przypadku średniomasywnych konstrukcji [4, 5], do których zaliczamy żelbetowe ściany średniomasywnych zbiorników, występuje ponadto zjawisko skrępowania odkształceń przez wcześniej wykonane elementy konstrukcyjne. Ze względu na dużą liczbę czynników wpływających na naprężenia wymuszone wynikające z warunków wykonania konstrukcji, rodzaju mieszanki betonowej, rozwiązań konstrukcyjnych oraz zjawisk reologicznych wpływających w późniejszym czasie na zmiany naprężeń w zbrojeniu [6, 7], w normie [3] nie ma szczegółowych wytycznych dotyczących sposobu projektowania oraz wykonywania żelbetonowych średniomasywnych zbiorników. W szerszym zakresie problem zarysowania konstrukcji średniomasywnych został przedstawiony w pracy [8].

Dopuszczalna średnica i rozstaw zbrojenia

W przekrojach, w których z uwagi na zarysowanie spełniony jest warunek minimalnego stopnia zbrojenia, w normie PN-EN 1992-3 [3] podano sposób kontroli zarysowania przez dobór dopuszczalnej średnicy lub rozstawu zbrojenia. Zarówno w przypadku obciążeń zewnętrznych, jak i wymuszonych oraz niezależnie od schematu skrępowania odkształceń, dopuszczalna średnica zbrojenia ϕ_s^* jest zdefiniowana na rysunku 7.103N [3] jako funkcja naprężeń w sta-

li zbrojeniowej oraz dopuszczalnej szerokości rysy. W przypadku obciążeń wymuszonych rozpatrywane są dwa schematy skrępowania elementu konstrukcyjnego, tj. na jego przeciwległych końcach i w podstawie. Rysunek 7.103N [3] został wykonany na podstawie zależności:

$$\phi_s^* = 8,529 \cdot f(w_k, \sigma_s) \cdot 2 \quad (1)$$

$$f(w_k, \sigma_s) = \frac{1}{\sigma_s} \left(\frac{E_s w_k}{W(\sigma_s)} - 3,4 \cdot 30 \text{ mm} \right) \quad (2)$$

gdzie:

ϕ_s^* – graniczna wartość średnicy zbrojenia; W – w uproszczeniu $= 0,6s_s$;
 s_s – naprężenie w zbrojeniu; $E_s = 200 \text{ GPa}$; w_k – dopuszczalna szerokość rysy.

Graniczną średnicę pręta zbrojeniowego, z uwagi na w_{lim} , można zapisać [9]:

$$\phi_s(\sigma_s) = r \frac{k_c \cdot h_{cr}}{h} \cdot \frac{k \cdot f_{cteff}}{0,34 \cdot k_2 \cdot \sigma_s} \left(\frac{E_s \cdot w_{lim}}{W(\sigma_s)} - 3,4 \cdot c_{nom} \right) \quad (3)$$

przyjmując ϕ_s^* jak dla betonu 28-dniowego C30/37 w postaci:

$$\phi_s^*(\sigma_s) = \frac{2,9 \text{ MPa}}{0,34 \cdot k_2 \cdot \sigma_s} \left(\frac{E_s \cdot w_{lim}}{W(\sigma_s)} - 3,4 \cdot c_{nom} \right) \quad (4)$$

możemy zapisać $\phi_s^* = 2 \cdot \phi_s^*(\sigma_s)$, stąd dla osiowego rozciągania ($k_c = k_2 = 1$, $h_{cr} = h$) otrzymamy:

$$\phi_s(\sigma_s) = r \cdot \phi_s^*(\sigma_s) \cdot \frac{k \cdot f_{cteff}}{2,9 \text{ MPa}} \quad (5)$$

Dla przypadku $a < 0,2 h$ [9], gdzie: $r = k_c \cdot h_{cr}/5a$ otrzymamy:

$$\phi_s(\sigma_s) = \frac{1}{5} \frac{h}{(h-d)} \cdot \phi_s^*(\sigma_s) \cdot \frac{k \cdot f_{cteff}}{2,9 \text{ MPa}} = \frac{1}{10} \frac{h}{(h-d)} \cdot \phi_s^* \cdot \frac{k \cdot f_{cteff}}{2,9 \text{ MPa}} \quad (6)$$

¹⁾ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej;
e-mail: mzych@pk.edu.pl

W normie [3] wzór (6) na korektę granicznej średnicy pręta zbrojeniowego zapisano w postaci:

$$\phi_s(\sigma_s) = \frac{1}{10} \frac{h}{(h-d)} \cdot \phi_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2,9 \text{ MPa}} \quad (7)$$

Dla przypadku $a = 0,1 \text{ h}$ i $k \cdot f_{ct,eff} = 2,9 \text{ MPa}$ otrzymamy $\phi_s = \phi_s^*$. Współczynnik k nieujęty w [3] wpływa na redukcję $A_{s,min}$ oraz ϕ_s .

W przypadku $a \geq 0,2 \text{ h}$, gdzie $r = 1$, otrzymamy:

$$\phi_s(\sigma_s) = \frac{1}{2} \cdot \phi_s^* \cdot \frac{k \cdot f_{ct,eff}}{2,9 \text{ MPa}} \quad (8)$$

Na rysunku 7.104N przedstawiono maksymalne rozstawy prętów uzyskane na podstawie zależności:

$$s_z^{max}(\sigma_s) = \frac{1m \cdot 2\pi(\phi_s^*(\sigma_s)/2)^2}{A_{s,min}(\sigma_s)} \quad (9)$$

gdzie dla osiowego rozciągania: $\phi_s^*(\sigma_s)$ – wg rysunku 7.103N [3], $A_{s,min}(\sigma_s) = \rho_{p,eff}(\sigma_s) \cdot 1m \cdot 2,5a \cdot 2$, w którym założono efektywną grubość warstw rozciągających równą $2,5a$ dla $a < 0,2 \text{ h}$, gdzie: $a = c_{nom} + \phi_s^*(\sigma_s)/2$.

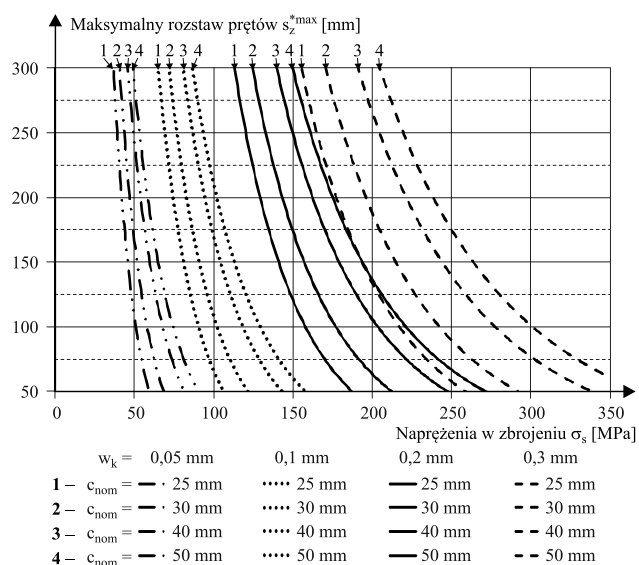
Korekta dopuszczalnego rozstawu zbrojenia s_z^{*max}

Maksymalny rozstaw prętów zbrojeniowych, w przypadku szerokości rysy w_k zdefiniowanej wg (9), jest tylko wtedy zgodny z założeniami metody dokładnej, gdy spełniony jest warunek (10). Jest to związane z założeniem maksymalnego rozstawu rys w postaci wyrażenia 7.11 [10].

$$s_z^{*max}(\sigma_s) = 5 \cdot \left(c_{nom} + \frac{\phi_s^*(\sigma_s)}{2} \right) \quad (10)$$

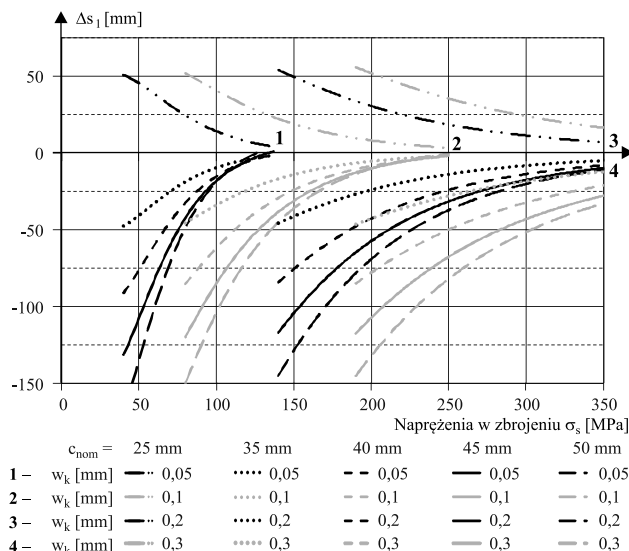
Policzony zgodnie z wyrażeniem (9) dopuszczalny rozstaw prętów zbrojeniowych dla poszczególnych c_{nom} podano na rysunku 1.

Na podstawie rysunku 1 wyznaczono różnicę maksymalnych rozstawów prętów zbrojeniowych różniących się grubością otulenia c_{nom} . Otrzymane wyniki przedstawiono na rysunku 2. Wartości Δs_1 dodane do wartości odczytanych z rysunku 1 stanowią dopuszczalny rozstaw prętów z uwzględnieniem innej grubości otulenia niż 30 mm, bez konieczności wykonywania odrębnych obliczeń. Pomimo tego, że metoda uproszczona daje tylko przybliż-



Rys. 1. Maksymalny rozstaw prętów w przypadku poszczególnych grubości otulenia c_{nom}

Fig. 1. Maximum bar spacing for selected concrete cover c_{nom}



Rys. 2. Odchyłki Δs_1 rozstawu prętów zbrojeniowych w przypadku różnych grubości otulenia c_{nom}

Fig. 2. Deviation Δs_1 for bar spacing for selected concrete cover c_{nom}

żone wyniki, to otrzymane wartości Δs_1 istotnie wpływają na konieczność zmniejszenia dopuszczalnego rozstawu prętów zbrojeniowych. Dla większości przypadków wartości Δs_1 są ujemne, co wynika z grubości otulenia większej niż 30 mm.

Wnioski

Wyznaczone odchyłki Δs_1 maksymalnego rozstawu prętów zbrojeniowych (s_z^{*max}) różniących się grubością otulenia w stosunku do przypadku przedstawionego na rysunku 7.104N normy [3], wskazują na konieczność znacznej redukcji rozstawu prętów zbrojeniowych wraz ze wzrostem grubości otulenia dla wszystkich przypadków w_{lim} .

Na podstawie przeprowadzonych analiz można wnioskować, iż rysunek 7.104N dotyczący maksymalnego rozstawu prętów zbrojeniowych, zawarty w EC2-3 [3], może być stosowany, gdy klasa betonu jest nie mniejsza niż C30/37, stosunek a/h jest mniejszy bądź równy 0,1, a otulenie nie jest większe niż 30 mm.

Literatura

[1] Halicka A., Franczak D.: Projektowanie zbiorników żelbetowych. Zbiorniki na ciecz. Tom 2. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.
 [2] Lewiński P.: Zasady projektowania zbiorników żelbetowych na ciecz z uwzględnieniem wymagań Eurokodu 2. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2011.
 [3] Eurocode 2: PN-EN 1992-3. Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 3: Silosy i zbiorniki na ciecz, listopad 2008, s. 23.
 [4] Flaga K.: Naprężenia skurczowe i zbrojenie przypowierzchniowe w konstrukcjach betonowych, Monografia 391, Politechnika Krakowska, Kraków 2011.
 [5] Flaga K., Klemczak B., Knoppik-Wróbel A.: Wczesne rysy termiczno-skurczowe w ścianach przyczółków mostowych. Inżynieria i Budownictwo, nr 4, 2013.
 [6] Bednarski Ł., Sieńko R., Howiacki T.: „Analysis of rheological phenomena in reinforced concrete cross-section of Rędziński bridge pylon based on in situ measurements”. 7th Scientific-Technical Conference Material Problems in Civil Engineering (MATBUD’2015).
 [7] Bednarski Ł., Sieńko R., Howiacki T.: „Estimation of the value and the variability of elastic modulus for concrete in existing structure on the basis of continuous in situ measurements”. Cement-Wapno-Beton, nr 12. 2014.
 [8] Kiernozycycki W.: Betonowe konstrukcje masywne, Polski Cement, Kraków, 2003.
 [9] Knauff M.: Podstawy projektowania konstrukcji żelbetowych i sprężonych wg EC2, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2006. s. 579 – 648.
 [10] Eurocode 2: PN-EN 1992-1. Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków, wrzesień 2008, s. 205.

Przyjęto do druku 30.07.2015 r.: