

dr inż. Mariusz Zych¹⁾

Komentarz do maksymalnej średnicy zbrojenia w ścianach zbiorników żelbetowych zgodnie z PN-EN 1992-3

Comments to the maximum bar diameter of the steel reinforcement in the RC tank walls according to PN-EN 1992-3

DOI: 10.15199/33.2015.09.19

(Oryginalny artykuł naukowy)

Streszczenie. W artykule przedstawiono i skomentowano postanowienia PN-EN 1992-3 w zakresie kontroli zarysowania metodą uproszczoną szerokości rys przez dobór dopuszczalnej średnicy zbrojenia ϕ_s^* zdefiniowanej na rysunku 7.103N. Przeanalizowano wpływ rodzaju obciążenia, tj. zewnętrznego lub wymuszonego na wartość ϕ_s^* . Zaprezentowano pochodzenie zależności pomiędzy maksymalną średnicą zbrojenia i dopuszczalnym naprężeniem, przy jednoczesnym wskazaniu zagadnień niepodanych przez normę, ale istotnych, takich jak wpływ c_{nom} .

Słowa kluczowe: zbiornik żelbetowy, kontrola zarysowania, maksymalna średnica zbrojenia.

Abstract. This article presents and comments the provisions of PN-EN 1992-3 in the field of cracks control according to simplified method which based on selection of maximum bar diameter ϕ_s^* defined in figure 7.103N. The influence of the type of load, i.e. external or imposed, on the value ϕ_s^* was analyzed. The origin of the relationship between the maximum diameter of the steel reinforcement and acceptable stress level was presented. What is more, some significant issues omitted by the standard, such as the impact of c_{nom} .

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

Zbiorniki żelbetowe projektowane są na sto lat. W tym okresie muszą spełnić wymagania dotyczące nośności, stateczności oraz trwałości konstrukcji [1, 2]. Jednym z ważnych czynników, powodujących zmniejszanie trwałości zbiorników, jest nadmierne zarysowanie ścian. W PN-EN 1992-3 [3] zdefiniowano dopuszczalne szerokości rys w ścianach żelbetowych zbiorników na ciecze, w zależności od wymaganej klasy szczelności. Ponadto zapisano: *Szczególną uwagę należy poświęcić elementom poddanym naprężeniom rozciągającym wynikającym z oporów stawianych odkształceniom od skurczu oraz ruchów termicznych.* Zapis ten dotyczy również zarysowania na etapie wykonywania konstrukcji, która w tym okresie poddana jest zmianie temperatury wynikającej z rozwoju ciepła hydratacji, wahań dobowej temperatury otoczenia oraz promieniowania słonecznego [4, 5]. W szerszym ujęciu, z uwagi na długotrwały charakter obciążenia, konieczne jest również uwzględnienie pęcznienia betonu przez redukcję modułu odkształcenia i wynikające z tego zmiany naprężeń w zbrojeniu [6, 7].

Maksymalna średnica zbrojenia

W PN-EN 1992-3 [3] podano uproszczony sposób kontroli zarysowania, powstałego od obciążeń wymuszonych, polegający na doborze właściwej średnicy zbrojenia, m.in. w zależności od dopuszczalnej szerokości rysy oraz naprężeń w stali zbrojeniowej. Metoda ta może być stosowana w przypadku, gdy przekrój (ze względu na zarysowanie) spełnia kryteria minimalnego stopnia zbrojenia zdefiniowanego w PN-EN 1992-1-1 [8]. W pracy [9] podano wyrażenie (1) na ϕ_s^* , na podstawie którego został wykonany wykres 7.103N w [3].

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

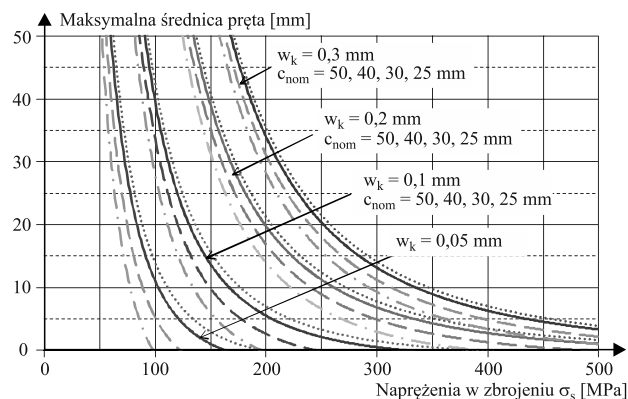
$$f(w_k, \sigma_s) = (1/\sigma_s) \cdot [(E_s w_k)/w - 3,4 \cdot 30 \text{ mm}] \quad (2)$$

gdzie:

ϕ_s^* – wartość graniczna średnicy zbrojenia; W – w uproszczeniu $= 0,6\sigma_s$; σ_s – naprężenie w zbrojeniu, które zgodnie z [3] w celu wyznaczenia odpowiedniego układu zbrojenia można obliczyć z zależności $\sigma_s = k_c k_{ct,eff} \rho / \rho$; $E_s = 200 \text{ GPa}$; w_k – dopuszczalna szerokość rysy.

Równanie (1) powstało ze wzorów (7.8, 7.9 i 7.11) zdefiniowanych w PN-EN 1992-1-1 [8] i służących do wyznaczenia szerokości rys metodą dokładną. W przekształceniach założono osiowe rozciąganie elementu w wyniku oddziaływania **obciążeń zewnętrznych**, a nie **wymuszonych**, przyjmując $k_c = k_2 = 1,0$, $h_{cr} = h$ oraz $a < 0,2h$.

Analogicznie jak przedstawiono w pracy [10] przy wyznaczeniu zależności (1, 2) zostało przyjęte założenie uproszczające dotyczące różnicy między średnimi naprężeniami w stali i betonie $W = 0,6\sigma_s$. Ponadto wykres normowy został stworzony przy założeniu $c_{nom} = 30 \text{ mm}$, inaczej niż w PN-EN 1992-1-1 [8], gdzie grubość otulenia zbrojenia wynosiła 25 mm. Zmiana ma duże znaczenie, gdyż ze wzrostem grubości otulenia c_{nom} (co jest charakterystyczne dla zbiorników) zaostrożony jest warunek maksymalnych naprężeń w stali (rysunek 1). Ponadto w normie [3] zapisano:



Rys. 1. Maksymalna średnica pręta wg wzorów (1-2)

Fig. 1. Maximum bar diameter according to Eq. (1-2)

¹⁾ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej;

e-mail: mzych@pk.edu.pl

Z uwagi na zarysowanie wywołane głównie oporem stawianym odkształceniom wymuszonym, średnice prętów podane na rysunku 7.103N **nie powinny być zwiększone** w sytuacji, gdy wartość naprężeń w zbrojeniu określono w chwili tuż po zarysowaniu. Natomiast w przypadku rys wywołanych **głównie obciążeniem** można spełnić warunek dotyczący maksymalnych średnic prętów na podstawie rysunku 7.103N, lub maksymalnych rozstawów prętów, na podstawie rysunku 7.104N. Średnica i rozstaw zbrojenia z uwagi na zarysowanie są ze sobą sprzężone, tzn. redukcja średnicy oznacza również redukcję rozstawu. Zgodnie z przytoczonym zapisem normowym należy wnioskować, iż rysunek 1 określa ϕ_s^* w przypadku przekrojów ścian żelbetowych mających minimalny stopień zbrojenia, które obciążone są **siłami zewnętrznymi** lub **obciążeniem wymuszonym**. Wykorzystując uproszczoną metodę kontroli zarysowania, w jednym i drugim zupełnie odmiennym przypadku obciążenia, zależności opisujące ϕ_s^* w [3] są jednakowe.

Elementy skrępowane

Zważywszy na zapis w załączniku M normy [3], że w przypadku oporów elementu na jego końcach wyrażenie na $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$; gdzie: ϵ_{sm} – średnie odkształcenie zbrojenia; ϵ_{cm} – średnie odkształcenie betonu między rysami) ma przybierać postać (3), należałoby domniemywać, iż zależność na ϕ_s^* (1) powinna być określona z uwzględnieniem tego równania.

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_c = (0,5 \cdot \alpha_c \cdot k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff}(t)/E_s) \cdot (1 + 1/\alpha_c \cdot \rho) \quad (3)$$

gdzie:

$k_c = 1,0$ przy czystym rozciąganiu; k – współczynnik zależny od wpływu nierównomiernych samorównoważących się naprężeń; ρ – rzeczywisty stopień zbrojenia; α_c – stosunek E_s/E_{cm} ; $f_{ct,eff}$ – średnia wartość wytrzymałości betonu na rozciąganie, w chwili spodziewanego zarysowania; t – wiek betonu w chwili spodziewanego zarysowania.

Zatem w przypadku obciążeń wymuszonych w miejsce założenia upraszczającego $W = 0,6\sigma_s$ w wyrażeniu (2) należy przyjąć:

$$W = 0,5 \cdot \alpha_c \cdot k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot (1 + 1/\alpha_c \cdot \rho) \quad (4)$$

Przyjmując zgodnie z [10] dla przypadku osiowego rozciągania, gdzie $a < 0,2h$, $\rho_{eff} = 0,5A_s/2,5ab = 0,2\rho h/a$ (gdzie: a – odległość od lica elementu do środka ciężkości zbrojenia; ρ_{eff} – efektywny stopień zbrojenia; A_s – pole powierzchni stali zbrojeniowej; $b = 1$ mb; h – grubość ściany) oraz zakładając, tak jak w [8] uproszczenie, iż $a = (h-d) \approx 0,1h$ (d – wysokość użyteczna) otrzymamy $\rho_{eff} = 2\rho$. Przyjmując wg [10] zależność:

$$\rho_{eff} = r \cdot [(k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot h_{cr}) / (h \cdot \sigma_s)] = 0,2\rho \cdot h/a \quad \text{dla } a < 0,2h \quad (5)$$

gdzie: $r = 0,2k_c h_{cr}/a$, to po uproszczeniach (dla elementu osiowo rozciąganego z zależności (5)), otrzymamy $\rho = kf_{ct,eff}/\sigma_s$, lub $\rho_{eff} = 2kf_{ct,eff}/\sigma_s$.

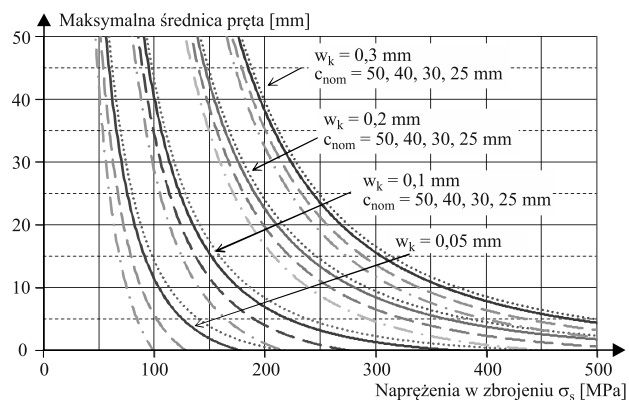
Podstawiając dalej $\rho = kf_{ct,eff}/\sigma_s$ do (4), otrzymamy:

$$W = 0,5 \cdot \alpha_c \cdot k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot [1 + \sigma_s / (\alpha_c \cdot kf_{ct,eff})] \quad (6)$$

W rozważanym przypadku czystego rozciągania $k_c = 1,0$, wyrażenie (6) upraszcza się do postaci:

$$W = 0,5 \cdot k \cdot (\sigma_s + \alpha_c \cdot kf_{ct,eff}) \quad (7)$$

Na tej podstawie ϕ_s^* w funkcji σ_s w przypadku poszczególnych szerokości rysy w_k oraz c_{nom} przedstawiono na rysunku 2. Na podstawie rysunków 1 i 2 można wnioskować, iż wartości ϕ_s^* w obu przypadkach są bardzo zbliżone. Jednak odczytane z wykresu stworzonego dla obciążeń zewnętrznych są tylko trochę mniejsze w porównaniu z przypadkiem obciążeń wymuszonych przy $k = 1,0$. Zatem uzasadniony jest zapis w normie [3] mówiący o możliwości odczytania średnicy prętów z wykresu 7.103N w przypadku spodziewanego zarysowania elementów od obciążeń zewnętrznych oraz wymuszonych.



Rys. 2. Maksymalna średnica pręta z uwzględnieniem zależności (7) oraz $k = 1,0$

Fig. 2. Maximum bar diameter with taking into account Eq. (7) and $k = 1,0$

Wnioski

Eurokod 1992-3 [3] podaje metodę uproszczoną kontroli zarysowania powstałego od obciążeń wymuszonych, przez wyznaczenie odpowiedniego pola zbrojenia minimalnego oraz maksymalnej średnicy zbrojenia. W normie nie wspomniano o zasadniczym wpływie grubości otulenia na dopuszczalne naprężenia w stali, ani nie podano wartości c_{nom} , dla której stworzono wykres 7.103N [3]. W przypadku zbiorników stosowane grubości otulenia prętów są zdecydowanie większe niż w tradycyjnych konstrukcjach.

Rysunek 7.103N w normie [3] określa ϕ_s^* w przypadku przekrojów ścian żelbetowych obciążonych **siłami zewnętrznymi**. Jednak wartości ϕ_s^* odczytane z wykresu stworzonego dla obciążeń zewnętrznych są tylko trochę mniejsze w porównaniu z przypadkiem obciążeń wymuszonych przy $k = 1,0$. Dlatego też uzasadniony jest zapis w normie [3] mówiący o możliwości odczytania średnicy prętów z wykresu 7.103N zarówno w przypadku spodziewanego zarysowania elementów od obciążeń zewnętrznych, jak i wymuszonych.

Literatura

- [1] Halicka A., Franczak D. Projektowanie zbiorników żelbetowych. Zbiorniki na cieczę. Tom 2. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.
- [2] Lewiński P. Zasady projektowania zbiorników żelbetowych na cieczę 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 cieczę, 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., Knopik-Wróbel A.: Wczesne rysy termiczno-skurczowe w ścianach przyczółków mostowych. Inżynieria i Budownictwo, nr 4, 2013.
- [6] Bednarski Ł., Sienko 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., Sienko 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] Eurocode 2: PN-EN 1992-1. Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków, wrzesień 2008, s. 205.
- [9] Zych M. Metoda uproszczona kontroli zarysowania ścian zbiorników żelbetowych poddanych obciążeniu wymuszonemu wg PN-EN 1992-3. MB, nr 3, 2015.
- [10] Knauff M. Podstawy projektowania konstrukcji żelbetowych i sprężonych wg EC2, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2006. s. 579 – 648.

Przyjęto do druku: 18.07.2015 r.