

## INTERPRETACJA NORMOWEJ METODYKI OBLICZENIOWEJ WERYFIKUJĄCEJ MOŻLIWOŚĆ USZKODZEŃ ŚCIAN DZIAŁOWYCH WYBUDOWANYCH NA UGINAJĄCYCH SIĘ ELEMENTACH STROPOWYCH

Jarosław Szulc, Marek Dohojda

**Streszczenie.** W projektowych normach europejskich ISO 4356 oraz PN-EN 1992-1-1 i PN-EN 15037-1 sprawdzanie ugięć żelbetowych elementów zginanych zostało sprowadzone do wskazania wartości dopuszczalnych i ogólnych zarysów metodyki obliczeniowej. Rygorystyczne wymaganie weryfikacji ugięć, z uwagi na możliwość uszkodzeń elementów niekonstrukcyjnych i wykończeniowych przylegających na przykład do deformujących się elementów stropowych i brak czytelnego algorytmu obliczeniowego, prowadzi w środowisku projektowym do zwyczajowej praktyki wymiarowania elementów ustroju nośnego przy przyjęciu wartości dopuszczalnych  $l_{eff}/500$ . Tak konserwatywne podejście przy sprawdzaniu stanów granicznych ugięć, bez jakichkolwiek podstaw merytorycznych, generuje w konsekwencji nieuzasadnione przewymiarowanie zginanych elementów ustroju nośnego i znaczne zwiększenie kosztów wykonania obiektu budowlanego.

**Słowa kluczowe:** ściany działowe, zarysowania, ugięcia czynne

### WSTĘP

Normy europejskie ISO 4356 i PN-EN 1992-1-1 wskazują, że odkształcenia konstrukcji nie powinny przekraczać wartości, przy których „...uszkodzeniu mogłyby ulec niekonstrukcyjne elementy współpracujące, np. ścianki działowe, oszklenia, okładziny, elementy wyposażenia lub wykończenia i inne”. Dopuszczalne wartości deformacji elementów ustroju nośnego określa się przy uwzględnieniu przeznaczenia i rodzaju konstrukcji, elementów wykończenia, ścian działowych oraz ich zamocowań. Norma PN-EN 1992-1-1 stanowi, że w przypadku, gdy „...strzałka ugięcia belki, płyty lub wspornika pod wpływem obciążeń quasi-stałych przekracza 1/250 rozpiętości, to wygląd i ogólna

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: Jarosław Szulc, Marek Dohojda, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Inżynierii Budowlanej, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, e-mail: jaroslaw\_szulc@sggw.pl; marek\_dohojda@sggw.pl

przydatność konstrukcji mogą być niezadowalające”. Norma wskazuje również konieczność ograniczenia deformacji (np. ugięć) ustroju nośnego, które mogą stanowić przyczynę powstania uszkodzeń przylegających do niego elementów niekonstrukcyjnych i wykończeniowych (rys. 1). Dopuszczalną granicę ugięcia powstającego pod wpływem oddziaływań w kombinacji SGU quasi-stałej (po zakończeniu wznoszenia konstrukcji) przyjmuje się równą  $1/500$  rozpiętości zginanego elementu ustroju nośnego (dla kruche- go elementu).



Rys. 1. Zarysowania ścian niekonstrukcyjnych wynikające z deformacji elementów ustroju nośnego

Fig. 1. Crack non-structural walls resulting from the deformation of the load-carrying structure

Obserwacje zachowań projektantów większości konstrukcji pozwalają dostrzec, że w projektach technicznych pomijane są analizy rzeczywiste możliwych sytuacji obliczeniowych na rzecz sprawdzania SG ugięć elementów ustroju nośnego z wyłącznym ograniczeniem warunkiem normowym  $l_{eff}/500$ . Działania takie nie znajdują jakiegokolwiek uzasadnienia merytorycznego i w konsekwencji powodują znaczne podwyższenie kosztów inwestycji w związku z przewymiarowaniem części elementów konstrukcyjnych.

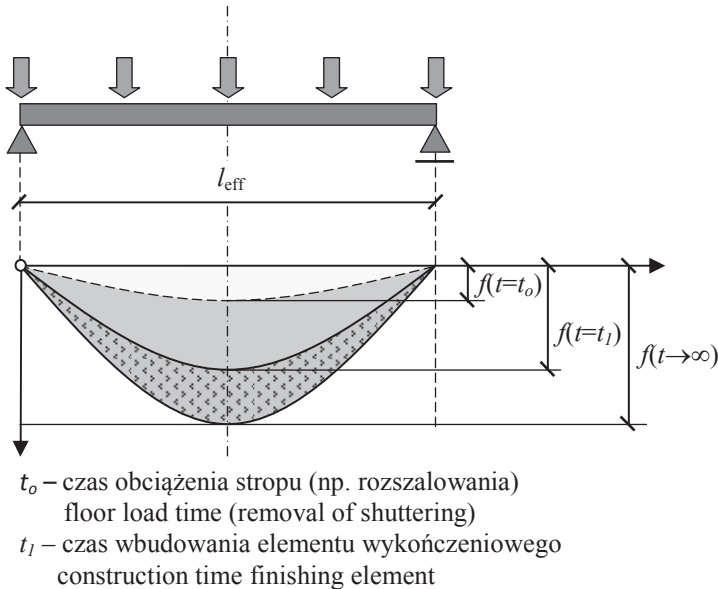
## KRYTERIUM OBLICZENIOWE – UGIĘCIE CZYNNE

Kontrola stanów granicznych ugięć (według PN-EN 1992-1-1) zginanych elementów żelbetowych, przy których zachowany byłby odpowiedni stan techniczny elementów niekonstrukcyjnych i wykończeniowych, może polegać na ograniczeniu tzw. ugięcia czynnego, które (np. według normy PN-EN 15037-1) stanowi różnicę między ugięciem całkowitym i wyznaczonym bezpośrednio po zakończeniu procesu podparcia montażowego i wbudowaniu elementu niekonstrukcyjnego (np. ścianek działowych).

Ugięcie czynne można wyznaczać według następującego wzoru (oznaczenia – rys. 2):

$$f_{active} = f(t \rightarrow \infty) - f(t = t_1) \quad (1)$$

UGIĘCIE CZYNNNE/ACTIVE DEFLECTION =  $f(t \rightarrow \infty) - f(t=t_1) < f_{dop}$   
 $f_{dop} = 1/500 l_{eff}$  (materiał kruchy/brittle material)



Rys. 2. Koncepcja obliczania ugięć czynnych elementów stropowych  
 Fig. 2. The concept of calculating active deflections floor elements

Norma europejska PN-EN 15037-1 wskazuje dopuszczalne ugięcia czynne, uzależniając je od rodzaju oddziaływań przenoszonych przez strop i od kruchości ścianek działowych i/lub wykończenia stropu, przyjmując następujące wartości:

- $l_{eff}/500$ , ścianki działowe murowane i/lub kruche wykończenie stropu,
- $l_{eff}/350$ , inne ścianki działowe i/lub niekruche wykończenia stropu.

## METODA PRZYBLIŻONA OBLICZANIA UGIĘĆ

Norma PN-EN 1992-1-1 przy obliczaniu ugięć elementów zginanych dopuszcza stosowanie metody przybliżonej według następującego wzoru (np. [Podstawy projektowania... 2006]):

$$f = (1 - \zeta) \cdot (f_I + f_{cs,I}) + \zeta \cdot (f_{II} + f_{cs,II}) \quad (2)$$

gdzie:  $f_I$  – ugięcie przy założeniu pracy elementu w fazie I (brak zarysowania),  
 $f_{cs,I}$  – ugięcie wywołane przez skurcz betonu w fazie I,  
 $f_{II}$  – ugięcie przy założeniu pracy elementu w fazie II (zarysowanie),  
 $f_{cs,II}$  – ugięcie wywołane przez skurcz betonu,  
 $\zeta$  – współczynnik dystrybucji uwzględniający zjawisko *tension stiffening*:

$$\zeta = 1 - \beta \cdot \left( \frac{M_{cr}}{M_{Ed}} \right)^2 \quad (3)$$

gdzie:  $\beta$  – współczynnik zależny od wpływu czasu trwania obciążenia lub wpływu obciążeń powtarzalnych (np.  $\beta = 1,0$  przy obciążeniach długotrwałych lub powtarzalnych),

$M_{Ed}$  – moment zginający od oddziaływań w kombinacji SGU quasi-stałej,

$M_{cr}$  – moment zginający od oddziaływań wywołujących zarysowanie elementu:

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot W_I \quad (4)$$

gdzie:  $f_{ctm}$  – charakterystyczna wytrzymałość betonu na rozciąganie,

$W_I$  – wskaźnik wytrzymałości przekroju niezarysowanego (faza I).

Ugięcia składowe we wzorze (2) obliczać można z następujących zależności:

$$f_I = \alpha_M \cdot \frac{M_{Ed} \cdot l_{eff}^2}{E_{c,eff} \cdot I_I}; \quad f_{cs,I} = -\alpha_{cs} \cdot \frac{E_s \cdot \varepsilon_{cs} \cdot S_I \cdot l_{eff}^2}{E_{c,eff} \cdot I_I}$$

$$f_{II} = \alpha_M \cdot \frac{M_{Ed} \cdot l_{eff}^2}{E_{c,eff} \cdot I_{II}}; \quad f_{cs,II} = -\alpha_{cs} \cdot \frac{E_s \cdot \varepsilon_{cs} \cdot S_{II} \cdot l_{eff}^2}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} \quad (5)$$

gdzie:  $l_{eff}$  – rozpiętość efektywna elementu stropowego,

$I_I, I_{II}$  – moment bezwładności przekroju niezarysowanego (faza I), zarysowanego (faza II),

$\alpha_M$  – współczynnik zależny od schematu statycznego belki i sposobu obciążenia (np. dla belki swobodnie podpartej i równomiernie obciążonej:  $\alpha_M = \frac{5}{48}$ ),

$E_{c,eff}$  – efektywny moduł sprężystości betonu uwzględniający pełzanie betonu:

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(t, t_0)} \quad (6)$$

gdzie:  $\varphi(t, t_0)$  – współczynnik pełzania wyznaczony odpowiednio do rozpatrywanego przedziału czasu i obciążenia,

$E_s$  – moduł sprężystości podłużnej stali,  $E_s = 200$  GPa,

$S_I, S_{II}$  – momenty statyczne przekroju niezarysowanego (faza I), zarysowanego (faza II),

$\varepsilon_{cs}$  – całkowite odkształcenia skurczowe (wartość ujemna),

$\alpha_{cs} = 0,125$  dla belki swobodnie podpartej.

Norma PN-EN 1992-1-1 przy obliczaniu ugięć elementów zginanych nakazuje również uwzględnienie w obliczeniach wpływu czynnika czasu, wyrażającego się zmiennością skurczu i pełzania betonu.

Współczynnik pełzania, występujący we wzorze (6), uwzględniający jego rozwój w czasie, wyraża się następującym wzorem:

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t - t_0) \quad (7)$$

We wzorze (7) podstawowy współczynnik pełzania można przedstawić w postaci:

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) \quad (8)$$

$$\text{gdzie: } \varphi_{RH} = \begin{cases} 1 + \frac{1 - 0,01 \cdot RH}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} & \text{dla } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \\ \left[ 1 + \frac{1 - 0,01 \cdot RH}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 & \text{dla } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \end{cases} \quad (9)$$

$RH$  – względna wilgotność środowiska [%],

$h_0$  – miarodajny wymiar elementu [mm],

$f_{cm}$  – średnia wartość wytrzymałości walcowej betonu na ściskanie,

$$\alpha_1 = \left( \frac{35}{f_{cm}} \right)^{0,7}; \quad \alpha_2 = \left( \frac{35}{f_{cm}} \right)^{0,2}$$

We wzorze (8) występują również współczynniki zależne od właściwości betonu i jego wieku w chwili przyłożenia obciążenia:

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} \quad (10)$$

$$\beta(t_0) = \frac{1}{(0,1 + t_0^{0,2})} \quad (11)$$

Rozwój pełzania w czasie po obciążeniu (we wzorze 7) uwzględnia współczynnik:

$$\beta_c(t - t_0) = \left[ \frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0} \right]^{0,3} \quad (12)$$

$$\text{gdzie: } \beta_H = \begin{cases} 1,5 \cdot \left[ 1 + (0,012RH)^{18} \right] \cdot h_0 + 250 \leq 1500 & \text{dla } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \\ 1,5 \cdot \left[ 1 + (0,012RH)^{18} \right] \cdot h_0 + 250 \alpha_3 \leq 1500 \alpha_3 & \text{dla } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \end{cases} \quad (13)$$

$$\alpha_3 = \left( \frac{35}{f_{cm}} \right)^{0,5}$$

Całkowite odkształcenia skurczowe:

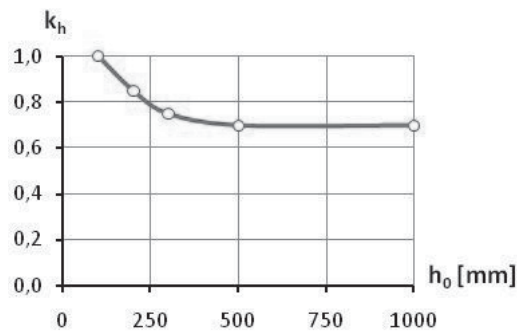
$$\varepsilon_{cs}(t) = \varepsilon_{cd}(t) + \varepsilon_{ca}(t) \quad (14)$$

Odkształcenia skurczowe na skutek wysychania:

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t - t_s) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} \quad (15)$$

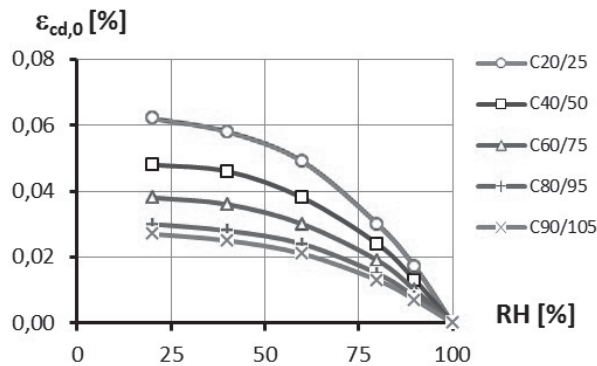
$$\beta_{ds}(t - t_s) = \frac{t - t_s}{t - t_s + 0,04\sqrt{h_0^3}} \quad (16)$$

gdzie:  $t_s$  – wiek betonu w chwili początku skurczu na skutek wysychania betonu,  
 $k_h$  i  $\varepsilon_{cd,0}$  – współczynniki o wartościach według wykresów na rysunkach 3 i 4.



Rys. 3. Współczynnik  $k_h$  do wyznaczania odkształceń skurczowych

Fig. 3. Coefficient  $k_h$  depending on the national size  $h_0$



Rys. 4. Współczynnik  $\varepsilon_{cd,0}$  do wyznaczania odkształceń skurczowych

Fig. 4. Nominal unrestrained drying shrinkage values  $\varepsilon_{cd,0}$

Autogeniczne (samorodne) odkształcenia skurczowe:

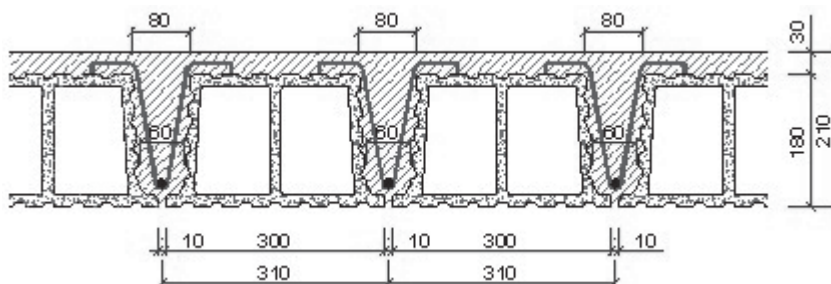
$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca,\infty} \quad (17)$$

$$\varepsilon_{ca,\infty} = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} \quad (18)$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0,2t^{0,5}) \quad (19)$$

### PRZYKŁAD OBLICZENIOWY – UGIĘCIA CAŁKOWITE I CZYNNE

Szczegółową ilustrację metodyki obliczeniowej wyznaczenia wartości ugięć całkowitych i czynnych przedstawiono na przykładzie typowego stropu gęstożebrowego typu Ackermana (rys. 5).



Rys. 5. Podstawowe wymiary stropu Ackermana

Fig. 5. The basic dimensions of the floor Ackerman

#### Założenia

Materiały: beton C20/25:  $f_{ck} = 20$  MPa,  $E_{cm} = 30$  GPa,  $\gamma_C = 1,4$ ,  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_C}$

stal:  $f_{yk} = 500$  MPa,  $\gamma_S = 1,15$ ,  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_S}$

Rozpiętość obliczeniowa:  $l_{eff} = 4,2$  m

Przekrój teowy:  $b_{eff} = 0,31$  m,  $b = 0,07$  m,  $h = 0,24$  m  
( $h_p = 0,20$  m,  $h_f = 0,04$  m)

Wysokość użyteczna:  $d = 0,208$  m

Tabela 1. Zestawienie obciążeń [ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$ ]

Table 1. Combination of loads [ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$ ]

Obciążenie Load	Wartość charakterystyczna Characteristic value	Współczynnik obciążenia Partial factor for actions	Wartość obliczeniowa Design value
Ciężar własny stropu Dead weight of floor	3,13	1,35	4,23
Warstwy wykończeniowe Finishing layers	1,32	1,35	1,78
Obciążenie użytkowe Useful load	2,00	1,50	3,00
Razem Total	6,45	–	9,01

Stan graniczny nośności (kombinacja podstawowa)

Obciążenie na 1 belkę stropową:  $9,01 \cdot 0,31 = 2,79 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$

Moment zginający:  $M_{Ed} = 0,125 \cdot 2,79 \cdot 4,2^2 = 6,15 \text{ kNm}$

$$I_I = 1,838 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$S_I = 1,243 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Nośność przekroju przy założeniu  $x_{eff} = h_f$

$$\begin{aligned} M_{Rd}^* &= f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot h_f \cdot (d - 0,5 \cdot h_f) = 14,3 \cdot 10^3 \cdot 0,31 \cdot 0,04 \cdot (0,208 - 0,5 \cdot 0,04) = \\ &= 33,3 \text{ kNm} > M_{Ed} \end{aligned}$$

Przekrój pozornie teowy

Wymiarowanie przekroju:

$$\begin{cases} M_{Ed} = f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot x_{eff} \cdot (d - 0,5 \cdot x_{eff}) \\ f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot x_{eff} = A_{s1} \cdot f_{yd} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} x_{eff} = 0,007 \text{ m} \\ A_{s1} = 0,71 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \end{cases}$$

Przyjęto: 1#12 ( $A_{s1} = 1,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ ),  $M_{Rd} = 9,87 \text{ kNm}$

Stan graniczny użyteczności (kombinacja quasi-stała,  $\psi_2 = 0,3$ )

**Ugięcie całkowite:  $f(t \rightarrow \infty)$**

Obciążenie na 1 belkę stropową:  $(3,13 + 1,32 + 2,00 \cdot 0,3) \cdot 0,31 = 1,57 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$

Moment zginający:  $M_{Ed} = 0,125 \cdot 1,57 \cdot 4,2^2 = 3,46 \text{ kNm}$

Współczynnik pełzania  $\phi(\infty, t_o) = 3,01$

- beton w chwili obciążenia  $t_o = 28$  dni
- klasa betonu C20/25
- wilgotność względna RH = 50%
- $h_o = 150$  mm

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(\infty, t_o)} = \frac{30000}{1 + 3,01} = 7481 \text{ MPa}$$

Faza I (stan niezarysowany)

$$\begin{aligned} I_I &= 1,838 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \\ S_I &= 1,243 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Faza II (stan zarysowany)

$$\begin{aligned} I_{II} &= 0,872 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \\ S_{II} &= 1,695 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$W_I = \frac{I_I}{h - d \cdot \xi_I} = \frac{1,838 \cdot 10^{-4}}{0,24 - 0,208 \cdot 0,463} = 1,279 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

gdzie  $\xi$  – względna wysokość strefy ściskanej

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot W_I = 2,2 \cdot 10^3 \cdot 1,279 \cdot 10^{-3} = 2,81 \text{ kNm}$$



$$\zeta = 1 - 0,5 \cdot \left( \frac{M_{cr}}{M_{Sd}} \right)^2 = 1 - 0,5 \cdot \left( \frac{2,81}{3,46} \right)^2 = 0,67$$

Całkowite odkształcenie skurczowe:  $\varepsilon_{cs}(t \rightarrow \infty) = -0,57 \cdot 10^{-3}$

- klasa betonu C20/25
- wilgotność względna  $RH = 50\%$
- $h_o = 150$  mm
- wiek betonu w momencie początku skurczu  $t_s = 7$  dni (cement portlandzki)

Ugięcie całkowite:  $f(t \rightarrow \infty)$

$$f_I(t \rightarrow \infty) = \alpha_M \cdot \frac{M_{Ed} \cdot l_{eff}^2}{E_{c,eff} \cdot I_I} = \frac{5}{48} \cdot \frac{3,46 \cdot 4,2^2}{7481 \cdot 10^3 \cdot 1,838 \cdot 10^{-4}} = 0,0046 \text{ m}$$

$$f_{II}(t \rightarrow \infty) = \alpha_M \cdot \frac{M_{Ed} \cdot l_{eff}^2}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{3,46 \cdot 4,2^2}{7481 \cdot 10^3 \cdot 0,872 \cdot 10^{-4}} = 0,0097 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} f_{cs,I}(t \rightarrow \infty) &= -\alpha_{cs} \cdot \frac{E_s \cdot \varepsilon_{cs} \cdot S_I \cdot l_{eff}^2}{E_{c,eff} \cdot I_I} = \\ &= 0,185 \cdot \frac{200\,000 \cdot 10^3 \cdot (-0,57 \cdot 10^{-3}) \cdot 1,243 \cdot 10^{-5} \cdot 4,2^2}{7481 \cdot 10^3 \cdot 1,838 \cdot 10^{-4}} = 0,0023 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cs,II}(t \rightarrow \infty) &= -\alpha_{cs} \cdot \frac{E_s \cdot \varepsilon_{cs} \cdot S_{II} \cdot l_{eff}^2}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \\ &= 0,185 \cdot \frac{200\,000 \cdot 10^3 \cdot (-0,57 \cdot 10^{-3}) \cdot 1,695 \cdot 10^{-5} \cdot 4,2^2}{7481 \cdot 10^3 \cdot 0,872 \cdot 10^{-4}} = 0,0065 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f(t \rightarrow \infty) &= (1 - \zeta) \cdot (f_I + f_{cs,I}) + \zeta \cdot (f_{II} + f_{cs,II}) = \\ &= (1 - 0,67) \cdot (0,0046 + 0,0023) + 0,67 \cdot (0,0097 + 0,0065) = 0,0132 \text{ m} < f_{dop} \end{aligned}$$

$$f_{dop} = \frac{l_{eff}}{250} = \frac{4,2}{250} = 0,0168 \text{ m}$$

**Ugięcie w chwili wprowadzenia elementów wykończeniowych:  $f(t = 100 \text{ dni})$**

Obciążenie na 1 belkę stropową:  $3,13 \cdot 0,31 = 0,97 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$

Moment zginający:  $M_{Ed}^* = 0,125 \cdot 0,97 \cdot 4,2 = 2,14 \text{ kNm}$

Współczynnik pełzania  $\varphi(t, t_o) = 1,59$

- beton w chwili obciążenia  $t_o = 28$  dni
- klasa betonu C20/25
- wilgotność względna  $RH = 50\%$
- $h_o = 150$  mm

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(t, t_o)} = \frac{30\,000}{1 + 1,59} = 11\,583 \text{ MPa}$$

Faza I (stan niezarysowany)

$$I_I = 1,688 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$S_I = 1,356 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Faza II (stan zarysowany)

$$I_{II} = 0,594 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$S_{II} = 1,921 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$W_I = \frac{I_I}{h - d \cdot \xi_I} = \frac{1,688 \cdot 10^{-4}}{0,24 - 0,208 \cdot 0,441} = 1,138 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$M_{cr} = f_{cm} \cdot W_I = 2,2 \cdot 10^3 \cdot 1,138 \cdot 10^{-3} = 2,50 \text{ kNm}$$

$$\zeta = 1 - 0,5 \cdot \left( \frac{M_{cr}}{M_{Sd}^*} \right)^2 = 1 - 0,5 \cdot \left( \frac{2,50}{2,14} \right)^2 = 0,32$$

Całkowite odkształcenie skurczowe:  $\varepsilon_{cs}(t = 100 \text{ dni}) = -0,30 \cdot 10^{-3}$

- klasa betonu C20/25
  - wilgotność względna  $RH = 50\%$
  - $h_o = 150$  mm
  - wiek betonu w momencie początku skurczu  $t_s = 7$  dni (cement portlandzki)
- Ugięcie w chwili wprowadzenia elementów wykończeniowych:  $f(t = 100 \text{ dni})$

$$f_I(t = 100 \text{ dni}) = \alpha_M \cdot \frac{M_{Ed} \cdot l_{eff}^2}{E_{c,eff} \cdot I_I} = \frac{5}{48} \cdot \frac{2,14 \cdot 4,2^2}{11\,583 \cdot 10^3 \cdot 1,688 \cdot 10^{-4}} = 0,0020 \text{ m}$$

$$f_{II}(t = 100 \text{ dni}) = \alpha_M \cdot \frac{M_{Ed} \cdot l_{eff}^2}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{2,14 \cdot 4,2^2}{11\,583 \cdot 10^3 \cdot 0,594 \cdot 10^{-4}} = 0,0057 \text{ m}$$

$$f_{cs,I}(t = 100 \text{ dni}) = -\alpha_{cs} \cdot \frac{E_s \cdot \varepsilon_{cs} \cdot S_I \cdot l_{eff}^2}{E_{c,eff} \cdot I_I} =$$

$$= 0,185 \cdot \frac{200\,000 \cdot 10^3 \cdot (-0,30 \cdot 10^{-3}) \cdot 1,356 \cdot 10^{-5} \cdot 4,2^2}{11\,583 \cdot 10^3 \cdot 1,688 \cdot 10^{-4}} = 0,0009 \text{ m}$$

$$f_{cs,II}(t = 100 \text{ dni}) = -\alpha_{cs} \cdot \frac{E_s \cdot \varepsilon_{cs} \cdot S_{II} \cdot l_{eff}^2}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} =$$

$$= 0,185 \cdot \frac{200\,000 \cdot 10^3 \cdot (-0,30 \cdot 10^{-3}) \cdot 1,921 \cdot 10^{-5} \cdot 4,2^2}{11\,583 \cdot 10^3 \cdot 0,594 \cdot 10^{-4}} = 0,0037 \text{ m}$$

$$f(t = 100 \text{ dni}) = (1 - \zeta) \cdot (f_I + f_{cs,I}) + \zeta \cdot (f_{II} + f_{cs,II}) =$$

$$= (1 - 0,32) \cdot (0,0020 + 0,0009) + 0,32 \cdot (0,0057 + 0,0037) = 0,0050 \text{ m}$$

Ugięcie czynne:

$$f_{active} = f(t \rightarrow \infty) - f(t = 100 \text{ dni}) = 0,0132 - 0,0050 = 0,0082 \text{ m} < f_{dop}$$

$$f_{dop} = \frac{l_{eff}}{500} = \frac{4,2}{250} = 0,0084 \text{ m}$$

Warunki stanów granicznych ugięć belki żelbetowej stropu gęstożebrowego typu Ackermana, określone w postanowieniach normowych PN-EN 1992-1-1, zostały spełnione (bez uwzględnienia interakcji pustaków stropowych, co według postanowień PN-EN 15037-1 pozwala zredukować ugięcia współczynnikiem korekcyjnym 0,75).

## PODSUMOWANIE

Występujący w normie PN-EN 1992-1-1 warunek SG ugięć powinien być sprawdzony w odniesieniu do ugięć całkowitych (sumaryczne oddziaływania w kombinacji quasi-stałej) z ograniczeniem do wartości  $l_{eff}/250$  oraz dodatkowo w odniesieniu do tzw. ugięć czynnych, stanowiących różnicę między ugięciem całkowitym i wyznaczonym bezpośrednio po zakończeniu procesu podparcia montażowego i wbudowaniu elementu niekonstrukcyjnego (np. ścianek działowych), z ograniczeniem ugięć czynnych do wartości  $l_{eff}/500$  (lub w uzasadnionych przypadkach  $l_{eff}/350$  – według PN-EN 15037-1:2011).

Przedstawiona metodyka obliczeniowa, wykorzystująca w części schematy zawarte w Podstawach projektowania... [2006] i pracy Szulc [2013], powinna stanowić narzędzie inżynierskie wspomagające pracę projektanta konstrukcji i wykluczające nadmierne i często kosztochłonne uproszczenia procedur obliczeniowych.

## PIŚMIENNICTWO

PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2 – Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków oraz PN-EN 1992-1-1:2008/NA:2010, PN-EN 1992-1-1:2008/AC:2011 i PN-EN 1992-1-1:2008/Ap1:2010.

PN-EN 15037-1:2011 Prefabrykaty z betonu. Belkowo-pustakowe systemy stropowe. Część 1: Belki oraz PN-EN 15037-1:2011/Ap1:2012.

Podstawy projektowania konstrukcji żelbetowych i sprężonych według Eurokodu 2, 2006. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław.

Szulc J., 2013. Ugięcia czynne stropów żelbetowych a uszkodzenia elementów do nich przylegających. Materiały Budowlane 4, 35–37.

## INTERPRETATION OF CODE COMPUTATIONAL METHODOLOGY VERIFYING THE POSSIBILITY OF DAMAGE TO PARTITION WALLS BUILT ON BENDING FLOOR ELEMENTS

**Abstract.** In the design European standards ISO 4356 i PN-EN 1992-1-1 PN-EN 15037-1 checking deflections of RC bending floor elements was brought about for showing permissible values and overviews of computational methodology. Rigorous requiring the verification of deflections due to the possibility of damage to nonstructural and finishing elements adjoining e.g. to floor elements losing shape and the lack of the legible computational algorithm caused the custom, existing in the environment design, of dimensioning of elements of the load-bearing system at assuming permissible  $l_{eff}/500$  values. So a conservative approach in checking the deflection limit state, itself without any-age based on merit, consequently generates unwarranted oversize bending elements of the supporting structure and a substantial increase in the cost of execution of the works.

**Key words:** partition walls, cracking, active deflection

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 20.12.2013