70 lat Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego

dr inż. Agnieszka Rogoża¹⁾

Ugięcia belek i odkształcenia stali zbrojeniowej w zarysowanych, zginanych elementach żelbetowych

Deflections of beams and strains of reinforcing steel bars in cracked, bending reinforced concrete elements

DOI: 10.15199/33.2015.10.25

Streszczenie. W artykule przedstawiono własne badania doświadczalne, w których pomierzono ugięcia żelbetowych belek i odkształcenia stali zbrojeniowej w tych elementach w fazie zarysowanej. Istotą badań była obserwacja tych wielkości przy narastajacym obciażeniu elementu. Do badań przyjęto beton o podwyższonej wytrzymałości. Wyniki doświadczalnych badań ugięć zostały porównane z wynikami otrzymanymi numerycznie obliczonymi zgodnie z Eurokodem 2 i modelem wykorzystującym dyskretny opis efektów pochodzących od zarysowania.

Słowa kluczowe: belka żelbetowa, ugięcie belki, odkształcenie stali zbrojeniowej.

rzedstawione w normach i literaturze metody obliczania ugięć w zarysowanej fazie pracy belki zakładają uproszczenia pozwalające na wyznaczenie tych wartości z dokładnością zadowalającą do prac projektowych [1, 2, 3]. W Eurokodzie 2 [3] zakłada się m.in. uśrednioną na długości belki wartość sztywności, stały rozstaw rys, a przy wyższych poziomach obciążenia szerokość strefy ulegającej uplastycznieniu. Rzeczywiste ugięcia są istotne przy projektowaniu z uwagi na spełnienie stanów granicznych użytkowania. Przedstawione badania pokazują, w jaki sposób zmieniają się ugięcia w zginanej belce żelbetowej przy narastającym obciążeniu. O spełnieniu drugiego ze stanów granicznych użytkowania - szerokości rysy - w dużej części decydują wartości wydłużenia zbrojenia rozciąganego.

Opis badań doświadczalnych

Badania doświadczalne przeprowadzono na zginanych belkach żelbetowych z betonu o wytrzymałości f_{ck, cube} = 63,4 MPa (rysunek 1). Stanowisko badawcze oraz geometrię badanych elementów wraz z opisanymi prętami zbrojeniowymi i schematem statycznym przedstawiono na fotografii oraz rysunku 1. Belki obciążano wzrastającą siłą skupioną w środku rozpiętości, z przerwami do 5 minut na wybranych poziomach obciążenia, aż do osiągnięcia obciążenia niszczą-



Stanowisko badawcze Test stand



[Fot. A. Rogoża]

Rys. 1. Schemat statyczny i geometria belki B.1.2

Fig. 1. Static scheme and geometry of element B.1.2

(Oryginalny artykuł naukowy)

Abstract. In the article own experimental research containing measured deflection of reinforced concrete beams and strains of reinforcing steel bars in the cracked beams are presented. The most important element of the research was measurement these parameters with increasing load. The research used elements made from higher-strength concrete. The results of experimental researches of the deflections are compared with numerically results obtained according to Eurocode2 and model using discrete description of the effects derived from cracked.

Keywords: RC beam, deflection of beam, strain of reinforcing steel bar.

> cego. Przyjęty sposób obciążenia miał posłużyć do opisania strefy uplastyczniania przekroju w badanych elementach.

> W artykule przedstawiono wyniki badań belek serii B.1 o stopniu zbrojenia ρ = 0,71%. Ugięcia elementów oraz wydłużenia rozciąganej stali zbrojeniowej były mierzone odpowiednio za pomocą czujników indukcyjnych oraz tensometrów elektrooporowych.

Wyniki badań doświadczalnych

2Ø10

Ø6

Na rysunku 2 przedstawiono zależność pomiędzy obciążeniem i ugięciem dla wybranego elementu serii B. 1. Wynika z niej, że siła, przy której następuje zarysowanie przekroju belki B.1.2. $(P_{rr} = 30 \text{ kN})$, nie wpływa istotnie na cechy sprężyste elementu. Szyb-

> szy przyrost ugięcia, a jednocześnie szybszy przyrost kąta obrotu w strefie, którą określa się jako strefę uplastycznienia przekroju, obserwuje

się przy wartościach 2 - 3 razy większych od siły rysującej. Krótkotrwałe zmiany ugięcia w środku rozpiętości elementu dv i zmiane odkształceń stali w środku rozpiętości dε dolnego

¹⁾ Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego; e-mail: agnieszka.rogoza@pwr.edu.pl

70 lat Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego

zbrojenia belki B.1.2. przedstawiono na rysunkach 3 i 4, a na rysunkach 5 i 6 krótkotrwałe zmiany ugięcia w środku rozpiętości elementów serii B.1 oraz zmiany odkształceń stali w dolnym zbrojeniu w środku rozpiętości elementu dla poziomu obciążenia P = 0,66P_u (P = 75 kN). Ponadto można zaobserwować efekty kruchego pękania w rysie, które z reguły są odkształceniami nieodwracalnymi obserwowanymi wyraźnie powyżej obciążenia rysującego (P = 30 kN).



Rys. 2. Ugięcie v w środku rozpiętości elementu zależnie od obciążenia P – belka B.1.2

Fig. 2. Deflection v in the middle of the span element depending on the load P – beam B.1.2



Rys. 3. Zmiana ugięcia w czasie w środku rozpiętości belki B.1.2 w zależności od obciążenia

Fig. 3. Change deflection in the middle of the span element in time for different levels of load beam B.1.2



Rys. 4. Przyrost w czasie odkształceń stali w środku rozpiętości belki B. 1.2 w zależności od obciążenia (czujnik nr 6)

Fig. 4. Increase strain in the steel in the middle of the span element in time for different levels of load beam B.1.2 (sensor no. 6)



Rys. 5. Zmiana ugięcia w czasie w środku rozpiętości elementów serii B. 1 w przypadku obciążenia P = 75 kN

Fig. 5. Change deflection in the middle of the span element in time for the level of load P = 75 kN for the series B.1



0 60 120 180 240 300 360 420 480 dt [s]

Rys. 6. Przyrost w czasie odkształcenia stali zbrojeniowej w środku rozpiętości elementów serii B. 1 (czujnik nr 6) w przypadku obciażenia P = 75 kN

Fig. 6. Increase strain in the steel in the middle of the span element – sensor no. 6 in time for the level of load P = 75 kN for the series B.1

Porównanie ugięć doświadczalnych z numerycznymi

Uśrednione ugięcia w środku rozpiętości elementów serii B.1 ($\rho = 0,71\%$) oraz porównanie z wynikami numerycznymi dla wybranych obciążeń przedstawiono na rysunku 7. Do analizy numerycznej opartej na modelu wykorzystującym dyskretny opis efektów pochodzących od zarysowania przyjęto zmienne parametry: szerokość strefy



Rys. 7. Średnie ugięcia belki B1 w przypadku $P = 75 \text{ kN} = 0,66P_u - \text{obliczone i do$ $świadczalne}$

Fig. 7. Average deflection of beam B1 at P = 75 kN= 0,66P_u - calculated and experimental kształtowania się przegubu plastycznego; średni rozstaw rys w tej strefie oraz liczbę rys [1, 4]. Uzyskane wyniki różniły się nie więcej niż o 1%, dlatego też zostały uśrednione dla serii B.1. i przedstawione na rysunku 7, jako v_{śr}. Pokazano też na nim średnie ugięcie obliczone zgodnie z Eurokodem 2, wykorzystując charakterystyki materiałowe z badań własnych oznaczone jako v_{EC2}.

Wyniki analiz numerycznych porównano z uśrednionymi wynikami doświadczalnymi w przypadku założonego obciążenia P = 75 kN – dla momentu przyłożenia tego obciążenia w środku rozpiętości badanych belek – $v_{dośw1}$ oraz dla obciążonego elementu po 5 min – $v_{dośw2}$.

Podsumowanie

Przedstawione wyniki badań doświadczalnych ugięć belek żelbetowych oraz odkształceń stali zbrojeniowej dla wybranego schematu statycznego elementów z betonu o podwyższonej wytrzymałości wykazują powtarzalność mierzonych wielkości ugięć elementów i odkształceń w rozciąganej stali zbrojeniowej. O nośności elementu decyduje miejsce, w którym występuje największe uplastycznienie przekroju i z tego względu, przy uwzględnianiu w obliczeniach redystrybucji momentów, należy zwrócić szczególną uwagę na wartość odkształceń na wysokości przekroju, na którą ma wpływ również okres przyłożenia obciążenia. Porównanie wyników doświadczalnych ugięć z otrzymanymi z analiz numerycznych na własnych modelach obliczeniowych wykazuje dobrą zgodność w przypadku obciążenia P = 0,66P. Można przyjąć, że po uwzględnieniu współczynników bezpieczeństwa taki zakres obciążeń jest wystarczający do celów projektowych.

Literatura

 Borcz A., Teoria konstrukcji żelbetowych, wybrane badania wrocławskie, t. 2, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1986.
Ubysz A., Plastic strains and self-stresses in reinforced concrete, bar construction. Edit. TU Wrocław, Wrocław 1999.

[3] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2 Projektowanie konstrukcji z betonu Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.

[4] Rogoża A., Ubysz A., Analiza parametrów opisujących przegub plastyczny w belce wykonanej z betonu o wysokiej wytrzymałości, Przegląd Budowlany nr 2/2012, s. 47 – 50.

Przyjęto do druku: 19.08.2015 r.

83