

podparciem w czasie transportu i składowania. Przeprowadzone badania poligonowe płyty wykazały, że szerokość rozwarcia istniejących rys pod wpływem obciążenia  $q_{k,max} = 1,2 q_k = 9,0$  kPa zwiększyła się w porównaniu ze stanem płyty nieobciążonej tylko o  $0,03 \div 0,05$  mm.

Wykonawcy konstrukcji trybun stadionu zalecono przeprowadzenie inwentaryzacji zarysowania wbudowanych płyt z opisem długości i szerokości rozwarcia rys oraz dobranie na tej podstawie odpowiedniej metody zabezpieczenia i uszczelnienia powierzchniowego betonu od strony sufitowej. Opisany w pracy przypadek stano-

wi ilustrację prawdy, że zaprojektowanie prefabrykowanego elementu żelbetowego z dużymi zapasami nośności w stadium użytkowania, nie zapewnia automatycznie jego dobrej jakości, jeśli nie przeanalizuje się stadium rozformowania, transportu i montażu elementu.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Grabarczyk P., Dubrawski T., Zastosowanie elementów prefabrykowanych w budowie stadionów w Polsce. Materiały budowlane nr 11/2010, s. 30÷32  
 [2] Budownictwo Betonowe, tom VIII: Badania materiałów, elementów i konstrukcji, Arkady Warszawa 1970  
 [3] Starosolski W., Konstrukcje żelbetowe według PN-B-03264:2001 i Eurokodu 2, Tom: 1, 2, 3 Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006

- [4] PN-B-03264:2002. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie  
 [5] PN-EN 1992-1-1:2008. Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1. Reguły ogólne i reguły dla budynków  
 [6] PN-B-02003:1982. Obciążenia budowli. Obciążenia zmienne technologiczne. Podstawowe obciążenia technologiczne i montażowe  
 [7] PN-EN 1991-1-1:2004. Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach  
 [8] PN-EN 13369:2005/A1:2008/AC:2008. Wspólne wymagania dla prefabrykatów z betonu  
 [9] PN-B-06250:1988. Beton zwykły.  
 [10] Kubiak J., Łodo A., Michałek J., Obciążenia próbne prefabrykowanej płyty audytorijnej trybun stadionu. Raport Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej serii SPR Nr 9/2009, Wrocław 2009

## Nośność prefabrykowanych rur betonowych

Dr inż. Andrzej Kmita, dr inż. Roman Wróblewski, Politechnika Wroclawska

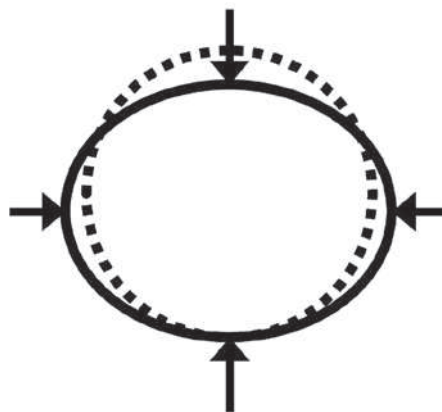
### 1. Wprowadzenie

Zagadnienia projektowania i realizacji obiektów z rur betonowych często są poruszane przez firmy zajmujące się produkcją tego rodzaju elementów. Zainteresowanie tego typu rozwiązaniem (beton niezbrojony) dotyczy najczęściej rur o małych średnicach, gdzie wartości sił wewnętrznych nie są duże i do spełnienia warunków nośności wystarcza sama wytrzymałość betonu. Wielu projektantów unika projektowania elementów betonowych zginanych. Jedną z przyczyn jest podejście do tego zagadnienia w Eurokodie 2 [1]. W artykule zostanie przedstawiona propozycja rozwiązania tego problemu.

### 2. Wymagania i przepisy dotyczące projektowania rur betonowych

Przy projektowaniu prefabrykowanych betonowych rur, najczęściej posługujemy się Eurokodem 2 [1] oraz normą PN-EN 1916 [2]. Pierwsza z tych pozycji zawiera reguły ogólne dotyczące projektowania konstrukcji z betonu. W rozdziale dotyczącym konstrukcji betonowych (p.12.1) zapisano bardzo istotną uwagę, że beton niezbrojony ma zastosowanie do elementów, w których można pominąć wpływy oddziaływań dynamicznych, oraz, że nie ma on zastosowania do konstrukcji obciążonych działaniem maszyn o ruchu obrotowym lub obciążenia ruchem drogowym.

Norma PN EN – 1916 [2], dotyczy rur i kształtek o średnicy DN < 1750 mm. Określa ona właściwości użytkowe rur oraz metody badań dla prefabrykowanych rur i kształtek, na podstawie których można dopuścić elementy do stosowania w budownictwie. Natomiast zgodnie z [3], projektując rury betonowe zakłada się liniowy rozkład naprężeń w strefie ścisanej i rozciąganej, a dla wyznaczonych naprężeń określa się globalny współczynnik bezpieczeństwa (dla typowych przypadków = 2,2). Projektując rury



Rys. 1. Postać deformacji rury pod obciążeniem gruntem

bierze się pod uwagę, w odróżnieniu od [2], sposób podparcia i obciążenia gruntem dostosowane do konkretnych warunków ułożenia rur. Natomiast wg [2] obowiązują znacznie niekorzystniejsze schematy obciążeń omówione w pkt. 4 niniejszego artykułu.

### 3. Parametry materiałowe

Biorąc pod uwagę wykres odkształceń – deformacji, z jakimi mamy do czynienia przy obciążeniu rur gruntem, gdzie dominuje obciążenie pionowe (rys. 1), parametrem decydującym o nośności przekroju jest wytrzymałość betonu na rozciąganie. Zgodnie z normą [1] przy projektowaniu konstrukcji betonowych wytrzymałość na rozciąganie można przyjmować z zależności:

$$f_{ctd,pl} = \frac{\alpha_{ct,pl} f_{ctk,0,05}}{\gamma_c}; \alpha_{ct,pl} = 0,8 \quad (1)$$

Natomiast zgodnie z [2] parametr wytrzymałości betonu na rozciąganie wiąże się z wytrzymałością rury na zgniatanie. Zgodnie z zaleceniami zawartymi w załączniku K [2], wartość wytrzymałości charakterystycznej przy zginaniu  $f_{ch}$  określa się w próbie zgniatania rur z  $n$  wyników. Następnie wyznacza się wartość projektową naprężenia przy zginaniu  $f_{des} \leq f_{ch}$ .

W celu wyznaczenia powyższych wartości, należy wykonać następujące obliczenia:

a) określić naprężenia na rozciąganie przy zginaniu  $f_{bt}$  dla każdej z  $n$  rur ze wzoru

$$f_{bt} = \frac{6 \cdot F_u \cdot r_m}{\pi \cdot t_{act}} \quad (2)$$

gdzie:  $f_{bt}$  – naprężenie na rozciąganie przy zginaniu w N/mm<sup>2</sup>,

$F_u$  – obciążenie niszczące rurę (pęknięcie) w kN/m,

$r_m$  – średni promień rury w mm,

$t_{act}$  – średnia grub. rury w kluczu wg pomiarów w mm.

b) obliczyć  $f_{ch}$  z  $n$  wyników

c) wybrać naprężenie projektowe  $f_{des} \leq f_{ch}$

d) obliczyć naprężenie  $f_{bt}$  w projektowanym przekroju

$$f_{bt} = \frac{6 \cdot F_n \cdot r_m}{\pi \cdot t_{min}} \quad (3)$$

gdzie  $F_n$  – minimalne obciążenie niszczące rurę w próbie zgniatania w N/m,

$t_{min}$  – najmniejsza grubość ścianki w kluczu.

e) Sprawdzić warunek

$$f_{bt} > f_{des} \quad (4)$$

### 4. Wymiarowanie rur betonowych

Na podstawie analizy wymagań dotyczących parametrów wytrzymałościowych betonu wg [1] i naprężeń rozciągających [2] dla rur betonowych grubość ścianki rury możemy wyznaczyć z warunku:

$$M_{Ed} \leq M_{cr} \quad (5)$$

gdzie  $M_{Ed}$  – maksymalny moment zginający w przekroju rury,

$M_{cr}$  – moment rysujący.

Wartość momentu  $M_{Ed}$  należy oszacować dla obliczeniowych wartości oddziaływań. Moment rysujący można obliczyć jak dla konstrukcji zbrojonych ze wzoru:

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot W_c \quad (6)$$

przy czym zgodnie z [1] wartość  $f_{ctm}$  należałoby zastąpić  $f_{ctd,pl}$  zgodnie ze wzorem (1). Wówczas konsekwentnie  $W_c$  można zastąpić sprężysto-plastycznym wskaźnikiem wytrzymałości  $W_f$ :

$$M_{cr} = \frac{\alpha_{ct,pl} f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} W_f \quad (7)$$

Dla betonowego przekroju prostokątnego przy założeniu, że odkształcenie graniczne jest dwa razy większe od sprężystego:

$$W_f = 1,75 W_c \approx 0,292 \cdot b \cdot h^2 \quad (8)$$

Stąd wymaganą grubość ścianki rury można wyznaczyć z zależności:

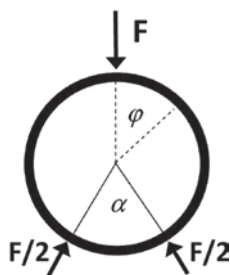
$$h = \sqrt{\frac{M_{Ed}}{0,292 \cdot b \cdot \frac{\alpha_{ct,pl} f_{ctk,0,05}}{\gamma_c}}} \quad (9)$$

W praktyce często spotyka się sytuację, gdzie producent rur produkuje od lat elementy betonowe bez dokumentacji projektowej i chce, aby taką dokumentacją dla jego wyrobu wykonać. Wówczas można wykorzystać fakt, że wyroby można poddać badaniom i zgodnie z procedurą opisaną w [2] określić wyżej omówioną wartość  $f_{des}$ . Podstawowym warunkiem jest oczywiście wykonanie testu na zgniatanie rur i określenie siły  $F_n$ . Przy projektowaniu tzw. typoszeregu rur, producenci muszą wybrać pewne przedziały obciążeń, które produkowane elementy muszą przenosić. Najczęściej wiąże się to z podaniem tzw. klasy wytrzymałości

Dla:  $0 \leq \varphi \leq \frac{\alpha}{2}$

$$m_\varphi = \frac{1}{2\pi} \left[ 1 - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \left(\pi - \frac{\alpha}{2}\right) \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cos\varphi - \pi \sin\varphi \right]$$

$$n_\varphi = -\frac{1}{2\pi} \left[ \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cos\varphi - \pi \sin\varphi \right]$$



Dla:  $\frac{\alpha}{2} \leq \varphi \leq \pi$

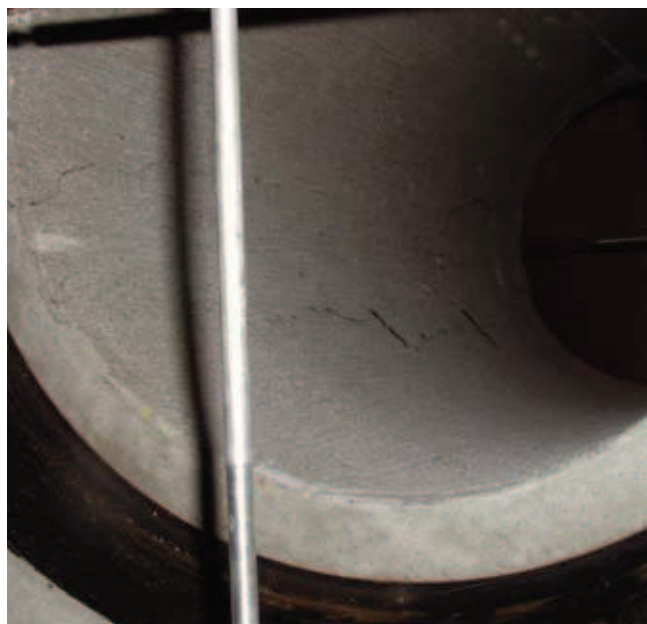
$$n_\varphi = -\frac{1}{2\pi} \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cos\varphi$$

$$m_\varphi = \frac{1}{2\pi} \left[ 1 - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \left(\pi - \frac{\alpha}{2}\right) \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cos\varphi - \pi \sin\varphi \right]$$

**Rys. 2.** Schematy obciążenia przyjmowane przy zginaniu rur. Zgodnie z [2], dla schematu trójpunktowego zginania  $\alpha = 30^\circ$

elementu, która jest bezpośrednio związana z minimalnym obciążeniem zgniatającym  $F_n$ , które powinien element przenieść. Można przy projektowaniu rur w danych klasach wytrzymałości wykorzystać schemat statyczny, jaki obowiązuje przy badaniach typu wg [2]. Zgodnie z rysunkiem 2, rura jest testowana wg schematu dającego najniekorzystniejsze wartości sił wewnętrznych, większe niż przy obciążeniu gruntem (a przykładowy obraz zniszczenia rury na stanowisku badawczym przedstawiono na rysunku 3).

Dla takiego schematu należy określić wartość  $M_{Ed}$ , a dalej z zależności (9) możliwe jest wyznaczenie minimalnej wartości  $h$  (grubość ścianki rury).



**Rys. 3.** Postać zniszczenia rury pod obciążeniem zgniatającym (wnętrze rury)

## 5. Podsumowanie

– Przedstawiona procedura projektowania rur betonowych pozwala na uwzględnienie w obliczeniach wyników badań doświadczalnych oraz umożliwia przyjmowanie mniejszych grubości niż wynikałoby to tylko z podejścia obliczeniowego.

– Rury betonowe bez zbrojenia można projektować przy założeniu, że nie będą one poddawane obciążeniom dynamicznym czy też zmęczeniowym.

– Bardzo istotnym zagadnieniem jest ustalenie podstawowego parametru, tj. wytrzymałości betonu na rozciąganie przy zginaniu. Biorąc pod uwagę wymogi dotyczące klasy betonu dla tego rodzaju elementów, podobnie jak dla rur przeciskanych wytrzymałość charakterystyczna betonu na ściskanie  $f_{ck}$  nie powinna być niższa niż 40 MPa.

– Zastosowanie zaleceń [1] do projektowania konstrukcji betonowych, bardzo mocno ogranicza wykorzystanie wytrzymałości betonu na rozciąganie. Wytrzymałość ta jest zmniejszana do około 50%  $f_{ctm}$ .

– Rury betonowe mimo ograniczonego zakresu stosowania, mają tę zaletę, że brak zbrojenia pozwala na ich stosowanie w środowisku agresywnym wobec stali, zdecydowanie zwiększając ich trwałość.

– Ograniczenia stosowania rur betonowych wiążą się też z ich średnicą. Najczęściej średnica wewnętrzna nie przekracza 1000 mm ( $DN \leq 1000$  m). Przy większych średnicach wartości sił wewnętrznych rosną i brak zbrojenia powoduje, że elementy te są zbyt masywne w porównaniu z rurami zbrojonymi.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN-1992-1-1: 2008. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [2] PN-EN-1916:2005. Rury i kształtki z betonu niezbrojonego, betonu zbrojonego włóknem stalowym i żelbetowe
- [3] ATV-DVWK – A127P:2000. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe kanałów i przewodów kanalizacyjnych
- [4] Kmita A. & Wróblewski R., 2006. High Performance Concrete in Pipes- Case studies. European Symposium on Service Life and Servicability of Concrete Structures ESCS – 2006 Espoo, Finland
- [5] Scherle M. 1977. Rohrvortrieb. Sattik, Planung, Ausführung. Band 2. Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GmbH