

Krzysztof ŚWIĄC\*

Politechnika Wrocławska

## SZEROKOŚĆ ROZWARCIA RYS W ŻELBETOWYCH PŁYTACH PODDANYCH STATYCZNYM OBCIĄŻENIOM O ZMIENNYM ZNAKU

**Streszczenie.** Referat zawiera opis i wyniki badań fragmentu ściany wielokomorowego silosu o przekroju prostokątnym, modelowanego żelbetową płytą. Model poddawany był statycznym obciążeniom o zmiennym znaku w dwóch przedziałach obciążenia. Po przyłożeniu do badanego elementu obciążenia zewnętrznego  $P$  mierzona była szerokość rozwarcia rys, odkształcenia w stali i na powierzchni betonu oraz ugięcie. Przeprowadzone badania potwierdziły istotny wpływ liczby cykli obciążeń o zmiennym znaku na końcową szerokość rozwarcia rysy, a także konieczność przeprowadzenia kolejnych badań.

## WIDTH OF CRACKS IN RC SLABS UNDER STATIC LOAD ON CHANGABLE DIRECTION

**Summary.** In this paper the description and results of research on a fragment of RC silo's wall on rectangular section are shown. RC silo's wall was modeled by RC slab. Model was loading by static load on changeable direction. After loading RC slab crack's width, strain of concrete and reinforcement steel, deflection were measured. The carried out research acknowledged influence of number of load cycles on final crack's width.

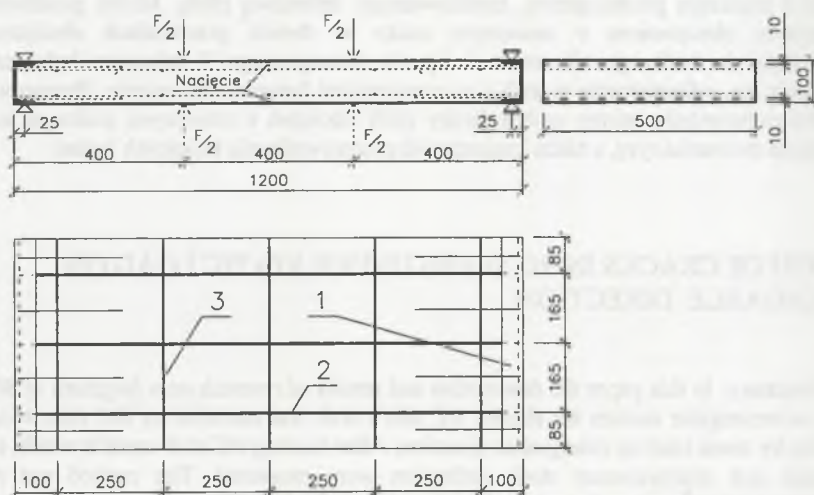
### 1. Opis modelu, stanowiska i badań

Badany element (płyta o wymiarach 1200×500×100 mm) wykonano z mieszanki betonowej składającej się (na 1 m<sup>3</sup>) z 400 kg cementu portlandzkiego kl. 35, 700 kg piasku 0 ÷ 5 mm, 1200 kg żwiru 5 ÷ 20 mm i 200 l wody. Wytrzymałość betonu na ściskanie, zbadana po 150 dniach na 7 kostkach 150×150×150 mm, wyniosła  $f_{cm} = 52,74$  MPa, a wytrzymałość na rozciąganie, określona metodą brazylijską na 3 cylindrach  $\phi 160 \times 320$  mm, wyniosła  $f_{ctm} = 3,78$  MPa.

\* Opiekun naukowy: Prof. dr hab. inż. Mieczysław Kamiński.

Badaniom poddano płytę o charakterystyce geometrycznej i zbrojeniu jak na rys. 1. W celu dokładnego usytuowania rysy wykonano nacięcie (po obu stronach) o głębokości 10 mm, przechodzące przez całą szerokość przekroju i usytuowane w środku rozpiętości. Badana płyta zbrojona była dwiema identycznymi siatkami (górną i dolną). Zbrojenie główne wykonano ze stali A-II (18G2-b,  $\phi = 8$  mm), a zbrojenie rozdzielcze ze stali A-I (St3S-b,  $\phi = 6$  mm).

Stanowisko badawcze schematycznie przedstawiono na rys. 2. Składa się ono z dwóch łożysk oraz trawersu. Badany element miał zabetonowane na obu końcach ceowniki z przyspawanymi kotwami (por. rys. 1), które umożliwiały obrót końców płyty w łożyskach.



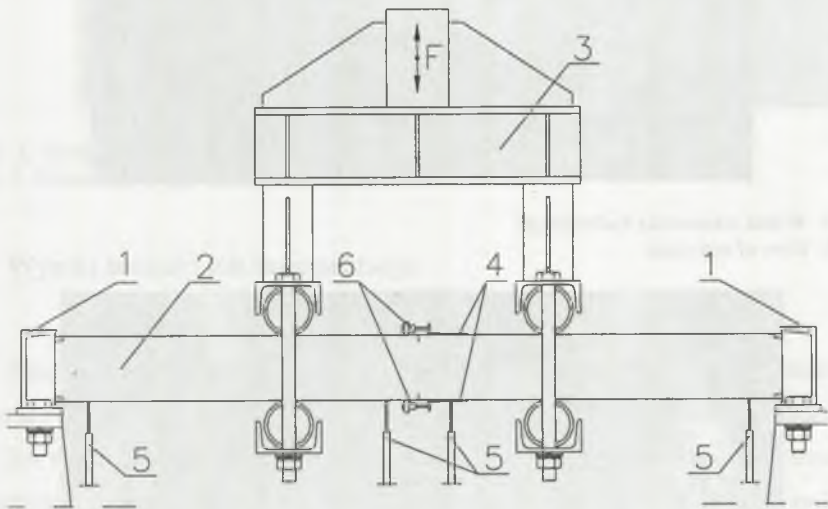
Rys. 1. Charakterystyka geometryczna i zbrojenie badanej płyty: 1 – ceownik z przyspawanymi kotwami, 2 – zbrojenie główne, 3 – zbrojenie rozdzielcze

Fig. 1. Geometric data and reinforcement of research slab: 1 – channel with welded anchor, 2 – longitudinal reinforcement, 3 – transverse reinforcement

Model płyty poddany został statycznym obciążeniom o zmiennym znaku w dwóch przedziałach obciążenia - 14,0 kN i 17,0 kN, wywołującego moment zginający odpowiednio 2,80 kNm i 3,40 kNm. Wywoływane momenty zginające wynosiły 75% i 90% teoretycznej nośności badanej płyty. Obciążenie realizowano siłownikami hydraulicznymi firmy Instron (nośność  $\pm 500$  kN, maksymalny skok roboczy  $\pm 125$  mm) sterowanymi za pomocą komputera.

Po przyłożeniu obciążenia zewnętrznego  $F$  (por. rys. 2) i utrzymania go przez 10 min mierzona była szerokość rozwarcia rysy, odkształcenia na powierzchni betonu i na powierzchni stali oraz ugięcia w dół i w górę. Rysy mierzono za pomocą czujników

indukcyjnych o dokładności 0,001 mm, odkształcenia betonu i stali tensometrami elektrooporowymi, natomiast ugięcia za pomocą czujników indukcyjnych o dokładności 0,01 mm. Każdy cykl obciążenia składał się z obciążenia i odciążenia w dół oraz obciążenia i odciążenia w górę. Czas trwania jednego cyklu (obciążenie, odciążenie, obciążenie z przeciwnym znakiem, odciążenie) wynosił 25 min. Ponieważ badany element jest modelem żelbetowej ściany wielokomorowego silosu na materiał sypki, który w okresie eksploatacji może być napełniany i opróżniany jedynie kilkadziesiąt do kilkuset razy (raz lub kilka razy w roku), liczbę cykli obciążenia ograniczono do 100.

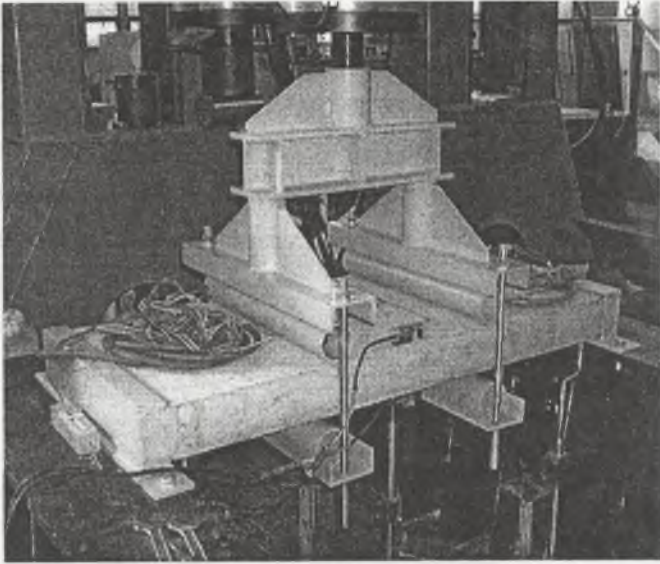


Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego: 1 – łożysko, 2 – badany element, 3 – trawers, 4 – tensometry elektrooporowe, 5 – czujniki indukcyjne o dokł. 0,01 mm, 6 – czujniki indukcyjne o dokł. 0,001 mm

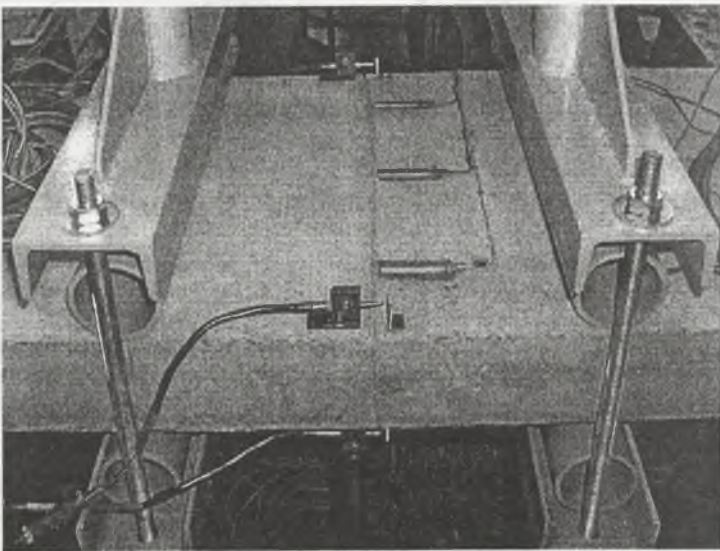
Fig. 2. Scheme of test stand: 1 – bearing, 2 – tested element, 3 – beam, 4 – electrical strain gauges, 5 – inductive gauges on accuracy 0,01 mm, 6 – inductive gauges on accuracy 0,001 mm

Na rysunkach 3 do 5 przedstawiono stanowisko badawcze z zamocowanym modelem płyty podczas przygotowań do wykonania badań. Odkształcenia na powierzchni stali i na powierzchni betonu, ugięcia elementu oraz szerokości rozwarcia rys odczytywano i rejestrowano za pomocą mostka tensometrycznego Hottinger UPM 100. Podczas pierwszego cyklu obciążenia dane rejestrowano co 1 kN, a dla kolejnych cykli dla pełnego obciążenia:

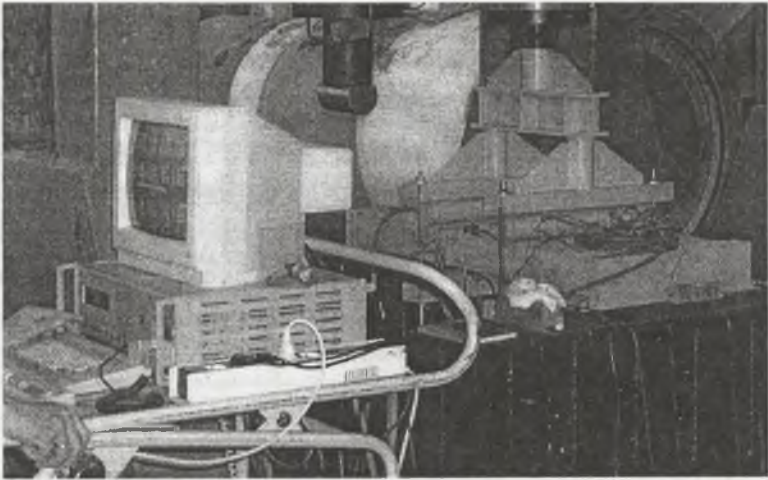
- cykle 1 ÷ 10 co 1 cykl
- cykle 10 ÷ 50 co 5 cykli
- cykle 50 ÷ 100 co 10 cykli



Rys. 3. Widok stanowiska badawczego  
Fig. 3. View of test stand



Rys. 4. Badany element z tensometrami elektrooporowymi oraz czujnikami indukcyjnymi  
Fig. 4. Tested element with electrical strain gauges and inductive gauges



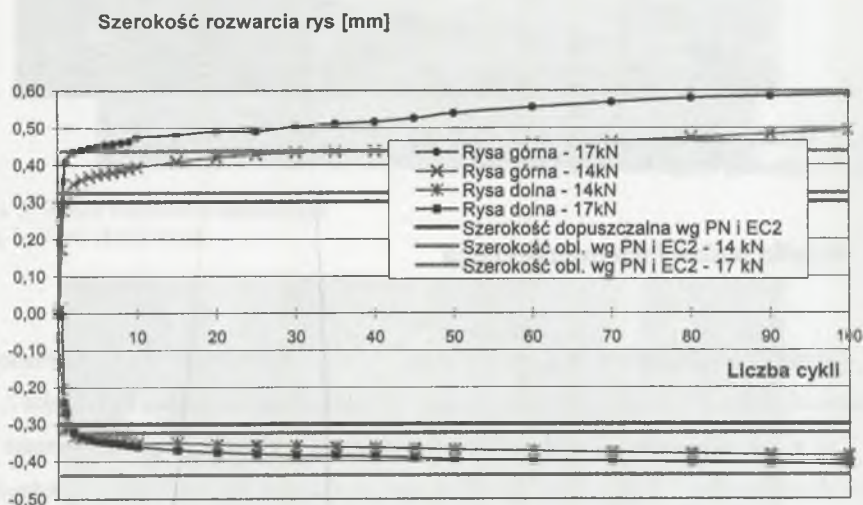
Rys. 5. Mostek tensometryczny Hottinger UPM 100  
 Fig. 5. Measuring bridge Hottinger UPM 100

## 2. Wyniki badań i ich interpretacja

Zależność między szerokością rozwarcia rysy a liczbą cykli obciążenia przedstawiono na rysunku 6. Zależność między ugięciem a liczbą cykli obciążenia pokazano na rysunku 7.

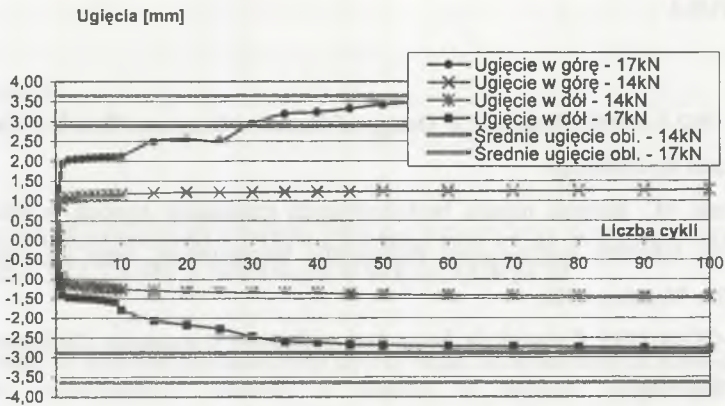
Jak widać na przedstawionych wykresach, szerokość rozwarcia rysy oraz wartości ugięć zwiększają się wraz z liczbą cykli. Największy przyrost szerokości rozwarcia rys nastąpił przy pierwszych 3 cyklach, następnie przyrost zmniejszył się, ale nie ustał. Widoczne są dwa etapy propagacji rysy w funkcji liczby cykli. Etap pierwszy obejmuje cykle od 1 do 3 - na wykresie widoczny w postaci linii prostej o dużym kącie nachylenia. Etap drugi cykle 4 do 100 - na wykresie krzywa. Największy przyrost szerokości rozwarcia rys, między pierwszym i ostatnim cyklem obciążenia, zaobserwowano dla rysy górnej - 0,320 mm dla obciążenia 14 kN i 0,308 mm dla 17 kN (stanowi to ponad 200% początkowej szerokości rozwarcia - odpowiednio 0,173 mm i 0,189 mm). Pomimo że jest to tylko przyrost szerokości rysy, już on przekracza największą dopuszczalną normowo wartość  $w_{lim} = 0,3$  mm [1, 3]. Podczas cyklu 12, dla obciążenia 17 kN, po lewej stronie nacięcia powstała rysa równoległa (oddalona od niego ok. 170 mm), powodująca znaczne zwiększenie ugięcia (por. wykres 2). Podobną sytuację zaobserwowano dla cyklu 28, z tą różnicą że rysa powstała po prawej stronie nacięcia. Szerokość rozwarcia rysy obliczona wg PN i EC wynosi 0,323 mm dla obciążenia 14 kN i 0,436 mm dla 17 kN. Obliczone wartości przedstawiono w postaci prostych na

rysunku 6. Tylko w przypadku rysy dolnej wywołanej obciążeniem 17 kN obliczona szerokość jest większa od rzeczywistej. W pozostałych trzech przypadkach rzeczywista szerokość rysy była dużo większa - w ekstremalnym z nich aż o 50%. Zaobserwowane szerokości rozwarcia rys górnych w porównaniu z dolnymi są większe. Rysa dolna powstała jako pierwsza, gdy beton w górnej strefie płyty był jeszcze nieuszkodzony. Po zmianie znaku obciążenia powstała rysa górna o szerokości rozwarcia większej niż dolna. Zjawisko to jest najprawdopodobniej spowodowane tym, iż wytrzymałość na ściskanie zarysowanego betonu jest znacznie mniejsza od wytrzymałości betonu niezarysowanego.



Rys. 6. Zależność między szerokością rozwarcia rysy a liczbą cykli obciążenia  
 Fig. 6. Relationships between crack width and number of load cycles

Największy przyrost ugięć zaobserwowano dla obciążenia 17 kN. Wyniósł on 1,40 mm (ugięcie w dół) i 1,86 mm (ugięcie w górę). Dla porównania dla obciążenia 14 kN przyrost ugięć wyniósł odpowiednio 0,40 mm i 0,23 mm. Ugięcie obliczone wg PN wynosi 2,84 mm dla obciążenia 14 kN i 3,45 mm dla 17 kN. Ugięcie obliczone wg EC2 wynosi odpowiednio 2,94 mm i 3,84 mm. Średnie wartości ugięć przedstawiono w postaci prostych na rysunku 7. Tylko w przypadku ugięcia w górę (wg PN) wywołanego obciążeniem 17 kN obliczona wartość jest mniejsza od rzeczywistej. W pozostałych przypadkach rzeczywiste ugięcia są mniejsze od obliczonych - dla obciążenia 14 kN nawet o 50%.



Rys. 7. Zależność między ugięciem a liczbą cykli obciążenia  
 Fig. 7. Relationships between deflection and number of load cycles

### 3. Wnioski

Przedstawione wyniki wstępnych badań laboratoryjnych nad zachowaniem się rys pod wpływem statycznych obciążeń o zmiennym znaku wykazują istnienie procesu propagacji rys i ich wpływu na końcową szerokość rozwarcia i ugięcia, a także konieczność przeprowadzenia kolejnych badań. Ponieważ wiele elementów konstrukcyjnych jest poddanych obciążeniom zmieniającym się cyklicznie, znajomość wpływu liczby cykli obciążeń na zachowanie się rys ma znaczenie praktyczne. Z przeprowadzonych badań można wyciągnąć następujące wnioski:

- 1) szerokości rozwarcia rys i wartości ugięć zwiększają się wraz z liczbą cykli obciążenia,
- 2) obciążenie zmienne w dwóch kierunkach powoduje powstawanie rys znacznie większych od normowych,
- 3) występowanie zarysowanego betonu w strefie ściskanej powoduje powstawanie rys o szerokościach rozwarcia większych niż przy betonie niezarysowanym.

## LITERATURA

1. ENV 1992-1-1:1992 Eurocode 2: Design of Concrete Structures Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings.
2. Kamiński M.: Badania naporu bezkohezyjnych materiałów sypkich w silosach. Praca naukowa Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, seria monografie, zeszyt nr 50/20, Wrocław 1986.
3. PN-B-03264:1999 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Artem Czkwianianc

**Abstract**

In this paper the description and results of research on a fragment of RC silo's wall on rectangular section are shown. The carried out research acknowledged influence of number of load cycles on final crack's width.