

Analiza uszkodzeń elementu płytowego modelującego fragment ściany wielokomorowego silosu obciążonego cyklicznie w świetle własnych badań doświadczalnych

Prof. dr hab. inż. Mieczysław Kamiński, dr inż. Ludomir J. Jankowski, Politechnika Wroclawska, mgr inż. Ewa Szantyka, PGE GiEK Oddział Elektrownia Turów

1. Wprowadzenie

Podczas eksploatacji konstrukcje żelbetowe ulegają różnym formom degradacji wywołanej przez procesy związane m.in. z efektami zmęczenia przy obciążeniach cyklicznie zmiennych lub spowodowanej przez korozję stali zbrojeniowej i betonu. Badania silosów w skali naturalnej prowadzone są z reguły w ograniczonym zakresie, najczęściej w celu określenia wielkości i rozkładów parcia ośrodków sypkich na ściany i dno komór silosowych. Podejmując się próby pomiaru procesu uszkodzeń, powstających w elementach prostokątnych silosów wielokomorowych, przy zmieniających się wariantach zasypów i opróżniania, autorzy przeprowadzili testy na płytach żelbetowych, stanowiących modele fragmentów ścian wielokomoro-

wych prostokątnych silosów, postępując się dwiema metodami pomiarowymi: techniką elastoptycznej warstwy powierzchniowej oraz metodą tensometryczno-indukcyjną.

2. Informacje ogólne

Opisywane w referacie badania stanowią kontynuację testów doświadczalno-numerycznych, które rozpoczęto na Politechnice Wroclawskiej, w Katedrze Konstrukcji Betonowych, w 2003 roku [2],[3],[4],[5].

Przedmiotem obserwacji i analiz był proces propagacji rys oraz zmiany wartości ugięć jednoprzęsłowej płyty żelbetowej o wymiarach 2,0x0,5x0,12 [m] i podwójnym, ortogonalnym układzie zbrojenia, zginanej obciążeniem niskocyklicznym o zmiennym znaku amplitudy. Obciążenie miało cha-

rakter statyczny. Miejscem prowadzenia obserwacji izochrom były boczne powierzchnie płyty żelbetowej, na których umieszczono elastoptyczne warstwy powierzchniowe, w postaci płaskich płytek o grubości $t_w = 2,0$ mm (wykonanych z mieszaniny żywicy epoksydowej Epidian 5, z dodatkiem ftalanu dwu-n-butylu, utwardzanej na zimno). Obserwowano trzy obszary: „A” – tj. strefę zginania czystym momentem oraz „B” i „C”, znajdujące się w rejonie przyłożonych sił zewnętrznych (na przeciwległej powierzchni bocznej płyty) (rys. 1). Pomiar rozwarości (CMOD) rys oraz ugięć płyty dokonano za pomocą czujników indukcyjnych. W badaniach zastosowano następujący sposób obciążania: w pierwszym cyklu, obciążeniem maksymalnym była siła wywołująca moment rysującą płytę. W kolejnych powtórzeniach, docelowym poziomem obciążenia była siła $P = 50\% \cdot P_{niszcz}^{teor}$, większa od obciążenia rysującego $P(M_{rys})$. Wartość współczynnika asymetrii cyklu znakozmiennego obciążenia wynosiła $P_{max}/P_{min} = -1$. Połączenie bezpośrednich pomiarów tensometryczno-indukcyjnych i elastoptycznych wzbogaciło analizę złożonej pracy elementu żelbetowego o wizualizację odkształcalności struktury betonu z uwzględnieniem rozwoju zarysowań.

Główne cechy wytrzymałościowe:

– beton:

$$f_{cm} = 42,5 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$$

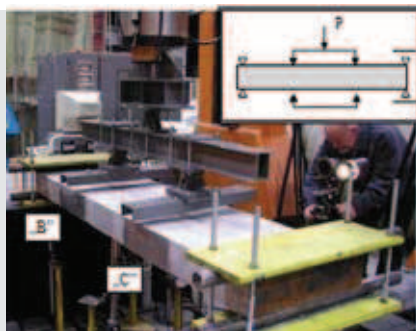
$$E_{cm} = 33,8 \text{ GPa}$$

– zbrojenie podłużne:

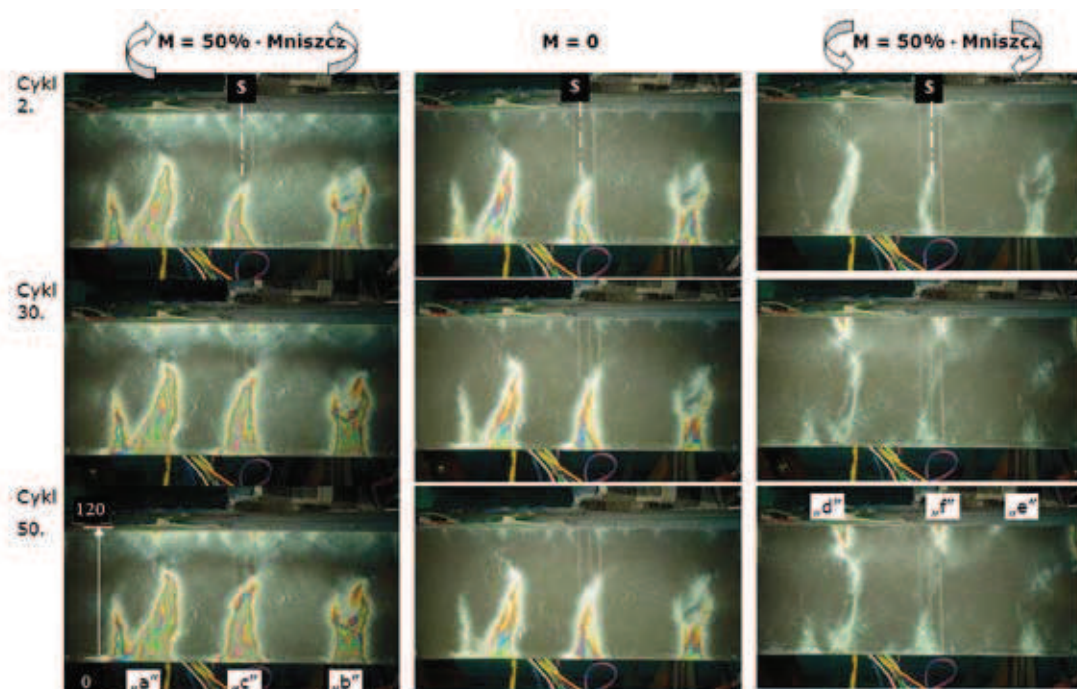
$$RB500W, \varnothing = 8 \text{ mm}$$

Stopień zbrojenia:

$$\rho_{dolne} = \rho_{górne} = 0,55\%$$



Rys. 1. Zestaw pomiarowy w metodzie elastoptycznej warstwy powierzchniowej oraz schemat statyczny płyty: polaryskop typu V Model 031 firmy Vishay i warstwy optycznie czułe w obszarze pomiarowym „B” i „C”



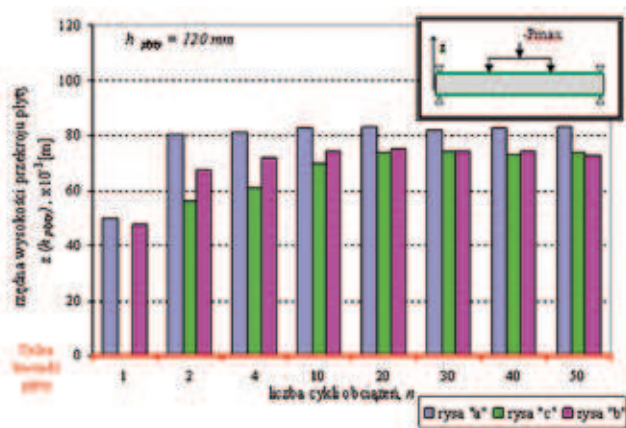
Rys. 2. Zestawienie porównawcze obrazów izochrom dla trzech wybranych cykli obciążeń: nr 2, nr 30, nr 50, dla obciążenia o zmiennym znaku amplitudy

3. Wyniki badań płyty żelbetowej z zastosowaniem techniki elastooptycznej

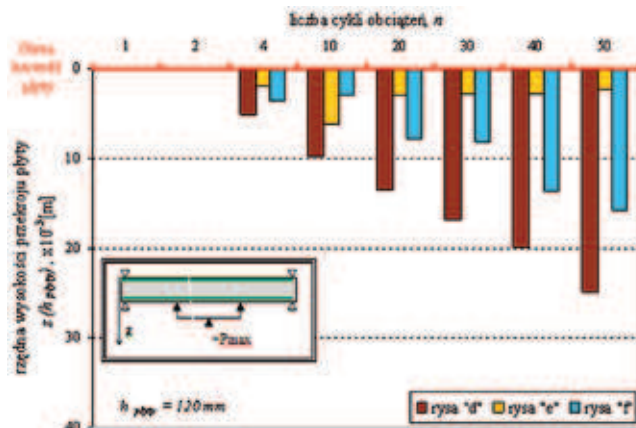
Bezpośrednim wynikiem badań elastooptycznych są obrazy izoklin i izochrom wygenerowane przez szczeliny powstające na powierzchniach bocznych zginanej płyty żelbetowej. Przystępując do analizy, przyjęto założenie, iż charakterystyczny obraz izochrom jest związany z przemieszczeniami brzegów szczeliny w betonie oraz strefą mikrozarysowania [2], przede wszystkim w rejonie wierzchołka rysy. Propaga-

cję uszkodzeń struktury betonowej w strefie czystego zginania, przedstawiono w zestawieniu porównawczym obrazów izochrom, dla trzech wybranych cykli obciążeń: nr 2, nr 30, nr 50 (rys. 2). Obrazy izochrom wskazują na zwiększający się zasięg rysy na górnej i dolnej powierzchni płyty, informując jednocześnie o zróżnicowanym ich kształcie. Ilościową interpretację powyższej wizualizacji stanowią wykresy na rysunkach 3 i 4. Proces zarysowania zapoczątkowało pojawienie się pęknięć „a” i „b” na powierzchni dolnej płyty, których zasięg już po 1. cyklu

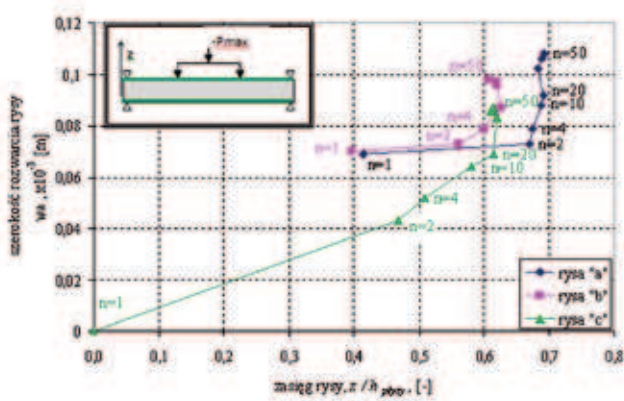
obciążenia wyniósł 42% wysokości przekroju poprzecznego badanego elementu (rys. 3), osiągając wartość około 70% w cyklu n=50. Zauważono, że rysy, które pojawiły się jako pierwsze („pierwotne”), charakteryzują się większą długością początkową (przy n=1) i końcową (przy n=50) niż rysy „wtórne”, przy jednocześnie dość szybko ujawnionej stabilizacji swojego zasięgu (por. rys. 3 i 4). „Dynamikę” rozwoju uszkodzeń struktury betonowej na dolnej powierzchni badanej płyty żelbetowej, przy kolejnych powtórzeniach obciążenia, przedstawiono na ry-



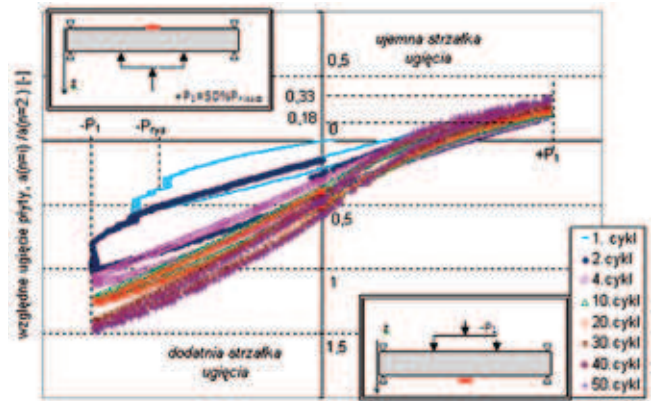
Rys. 3. Zasięg szczelin przy obciążeniu $-P_{max} = P_1$ (wartość rzędnej „0” odpowiada dolnej krawędzi płyty)



Rys. 4. Zasięg szczelin przy obciążeniu $+P_{max} = P_1$ (wartość rzędnej „0” odpowiada górnej powierzchni płyty)



Rys. 5. Propagacja zarysowania powierzchni dolnej płyty dla kolejnych cykli obciążeniowych n



Rys. 6. Pętla histerezy w postaci ścieżki ugięcia płyty w pobliżu jej środka rozpiętości, w wybranych cyklach obciążenia ($P_1 = 50\%P_{niszcz}$)

sunku 5. Zauważono podział rysy ze względu na dwa nurty progresji: rysy „pierwotne” wykazały wyraźny wzrost szerokości rozwarcia w_k , natomiast rysy „wtórne”, pomimo osiągnięcia mniejszych wartości końcowych, zaznaczyły się większą dynamiką swojego rozwoju (dwukrotny wzrost w_k przy 32% wzroście swojej długości).

Dzięki zastosowaniu dużej częstości zapisu mierzonych wielkości, możliwe stało się uzyskanie szczegółowych wykresów w postaci pętli histerezy, m.in. ścieżki ugięcia płyty w pobliżu jej środka rozpiętości (rys. 6). Oprócz odnotowania faktu zwiększania się ugięcia, dokonano również rejestracji faz, w jakich pracuje element żelbetowy przy danej historii obciążenia. W omawianym przypadku, stwierdzono 50-procentowy przyrost ugięcia płyty w wyniku 50 powtórzeń cykli obciążeniowych.

4. Podsumowanie

Łącząc dwie techniki pomiarowe: tensometryczno-czujnikową oraz elastooptyczną, uzyskano szerszy wachlarz danych o analizowanym procesie propagacji zarysowań w płycie żelbetowej, modelującej część zakresu pracy fragmentu ściany wielokomorowego silosu w różnych fazach napełnień i opróżnień. Mając na uwadze wyniki poprzednich badań własnych

[3],[4],[5] oraz obecnie opisane, stwierdza się następujące zależności:

1. wielokrotne obciążenia statyczne o zmiennym znaku amplitudy generują wzrost uszkodzeń w płycie żelbetowej, tj. rozwartości i zasięgu rys oraz wartości ugięcia elementu,
2. abstrahując od uwarunkowań materiałowych, znaczący wpływ na wartości mierzonych deformacji płyt żelbetowych ma historia obciążenia, w tym liczba powtórzeń i poziom obciążenia.

Mając na uwadze powyższe stwierdzenia, zastosowanie w testach odpowiednio dużej częstości rejestracji danych pomiarowych umożliwia uzyskanie interesujących informacji na temat szczegółowej „pracy” elementu żelbetowego poddanego danemu wariantowi cyklicznego („historii”) obciążenia: pętli histerezy szerokości rozwarcia rys, wartości ugięcia czy odkształceń jednostkowych betonu i prętów stalowych. Jednocześnie podkreśla się, że wyniki badań potwierdziły część obserwacji zachowania się ścian silosów w skali naturalnej, w tym morfologię.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Kamiński M., Badania naporu bezkohezyjnych materiałów sypkich w silosach, Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej. Seria: Monografie 20, Wrocław 1986
- [2] Jankowski L. J., Kamiński M., Szantyka E.,

- Badania doświadczalne rozwoju szczelin w żelbetowej płycie obciążonej cyklicznie, XXII Sympozjum Mechaniki Eksperymentalnej Ciała Stałego, Jachranka 2006, str. 231–236
- [3] Kamiński M., Szantyka E.; Cracks on reinforced concrete plate elements subjected to bending produced by variable sign static loads. Keep concrete attractive. Proceeding of the FIB Symposium. Ed. by Gyorgy L. Balazs, Adorjan Borosnyoi. Budapest, 23 to 25 May 2005. Vol. 2. Budapest University of Technology and Economics [2005] s. 699–704, 7 rys. bibliogr. 3 poz.
 - [4] Kamiński M., Szantyka E.; Tests of reinforced concrete plate elements bending cyclic static loads. Analytical models and new concepts in concrete and masonry structures. AMCM '2005. 5th International conference. Proceedings [Dokument elektroniczny]. Gliwice-Ustroń, June 12–14, 2005. Gliwice: [Wydział budownictwa PŚI.] 2005, [8] s. 9 rys. bibliogr. 4 poz. Referat zamieszczony na CD-ROM-ie załączonym do książki streszczeń
 - [5] Grant promotorski KBN zrealizowany w latach 2003–2005. Tytuł projektu: „Wpływ statycznych obciążeń znakozmiennych na zarysowanie żelbetowych elementów płytowych”
 - [6] Poukhonto L. M., Durability of Concrete Structures and Constructions: Silos, Bunkers, Reservoirs, Water Towers, and Restraining Walls examines the factors affecting the durability of reinforced concrete structures. A.A. Balkema, a member of Swets&Zeitlinger Publishers, 2003