

prof. dr hab. inż. Mieczysław Kamiński¹⁾
dr inż. Marek Maj^{2)*}

Rekonstrukcja wzmocnienia opaskami stalowymi silosu żelbetowego po wielu latach użytkowania

Reconstruction of strengthening ties with steel reinforced concrete silo after many years of exploitation

DOI: 10.15199/33.2015.09.24

(Studium przypadku)

Streszczenie. W artykule przedstawiono stan techniczny silosu na rzepak po ponad 40 latach eksploatacji. Utrata projektowanej trwałości spowodowała powzięcie decyzji o jego naprawie. Przedstawiono przyczyny oraz sposób wymiany istniejących dodatkowych opasek stalowych wzmacniających ścianę silosu. Zaprezentowano obliczenia siły sprężającej w opaskach i pomiary doświadczalne tej siły podczas sprężania.

Słowa kluczowe: silos, trwałość, wzmocnienie.

Abstract. The article presents the technical state of the silo on rape after 40 years of exploitation. Losing designed durability caused decision of the silo repairing. There are presented in article calculations and technics of measurement pressure in steel hoops during prestressing.

Keywords: silo, durability, strengthening.

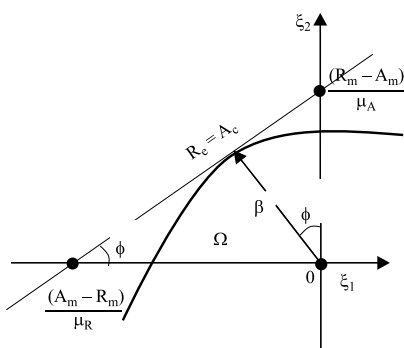
Poziom bezpiecznego użytkowania silosów obniża się wraz z upływającym czasem ich użytkowania. Równanie niezawodnościowe [1] dla SGN i SGU w przypadku konstrukcji silosów żelbetowych ma postać

$$A_c \leq R_c \quad (1)$$

gdzie:

A_c – oddziaływania, np. napór składowanego materiału, termika, wymuszane odkształcenia itp.;
 R_c – odporność konstrukcji, np. wytrzymałość, sztywność itp.

Zgodnie z równaniem (1), konstrukcje żelbetowych silosów można wzmocnić przez zmniejszenie wartości lewej strony tego równania lub zwiększenie wartości prawej strony [1]. Interpretacja graficzna została pokazana na rysunku 1. Obszar Ω pod krzywą ($R_c - A_c \geq 0$) jest obszarem niezawodnej eksploatacji. A_m i R_m to wartości średnie oddziaływań i odporności (indeks m), μ_A i μ_R – wartości odchyłeń standardowych oddziaływań i odporności (zmienna μ), β – współczynnik niezawodności, często rozdzielany na składowe częściowe odporności β_R i obciążeń β_A . Wynika z tego, że często prowadzone są jednocześnie prace nad wzmocnianiem silosów i zmniejszeniem obciążeń. Oba te działania zwiększają obszar niezawodności Ω i wartość współczynnika β .



Rys. 1. Obszar Ω bezpiecznego użytkowania konstrukcji [1] (opis w artykule)

Fig. 1. Safety area of construction exploitation [1] (described in article)

Przyczyny obniżenia bezpiecznego użytkowania silosów

Główne przyczyny obniżenia poziomu bezpiecznego użytkowania silosów, to obiektywne zwiększenie obciążeń oraz zmniejszenie odporności konstrukcji. Najczęstszym efektem zmniejszenia odporności silosów są zarysowania ścian [2]. Powstanie rys w ścianie żelbetowego silosu wynika z wielu przyczyn, mających miejsce podczas projektowania, wznoszenia i eksploatacji tych obiektów. W fazie projektowej przyczynami zarysowania są: niedoszacowanie obciążeń, zwłaszcza wynikających z naporu materiału i termiki; pominięcie znacznego wpływu skurczu oraz reologicznego charakteru parametrów wytrzymałościowych. Zarysowanie silosu w fazie wznoszenia jest spowodowane: szybkim przyrostem skurczu wy-

przedzającym przyrost wytrzymałości dojrzewającego betonu; nieodpowiednim wibrowaniem betonu naruszającym przyczepność do niego stali zbrojeniowej i powodującym segregację; zmianami rozmieszczenia poziomego zbrojenia w przekroju (zmniejszenie nośności przekroju); zmianami grubości otuliny; brakiem odpowiednio systematycznej pielęgnacji betonu; zbyt długą przerwą między kolejnymi etapami betonowania i co za tym idzie małą dbałością w kształtowaniu przerw technologicznych; odrywaniem deskowania podczas cyklu technologicznego, co powoduje powstanie tzw. raków itp. W fazie eksploatacji mogą pojawić się takie czynniki destrukcyjne, jak: zwiększenie obciążeń silosu przez zmianę rodzaju składowanego materiału; zmiana sposobu opróżniania silosu zwiększająca np. mimośród otworów napełniania i opróżniania silosu; brak okresowej kontroli stanu technicznego konstrukcji, a co za tym idzie bieżącej konserwacji i napraw będących przyczyną wzrostu korozji betonu i stali zbrojeniowej.

Metody wzmocniania

Metody zwiększenia trwałości ścian silosów mogą iść w dwóch kierunkach: zmniejszenia obciążeń (o ile to możliwe) i podniesienia odporności konstrukcji silosu.

Zmniejszenie obciążeń. Jednym z rozwiązań bezpiecznego użytkowania silosów jest stała kontrola obciążeń, takich jak napór i termika. Obciążenia od naporu skła-

¹⁾ „Expertus” Biuro Rzeczoznawstwa Budowlanego

²⁾ Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

^{*)} Autor do korespondencji:
e-mail: marek.maj@pwr.edu.pl

dowanego materiału można obniżyć przez zmniejszenie mimośrodowo opróżniania i stosowanie urządzeń odciążających. Inną metodą zmniejszenia naporu może być obniżenie poziomu wypełnienia silosu oraz unikanie koincydencji obciążeń.

Obliczeniowe wartości parametrów odpornościowych konstrukcji urealnijają szczegółowe badania stanu technicznego silosu. Ponieważ główną przyczyną zmniejszenia nośności silosów jest brak dostatecznej ilości zbrojenia poziomego oraz utrata otuliny, prace naprawcze dotyczą przede wszystkim reprofiliacji powierzchni ściany oraz uzupełnienia brakujących ilości zbrojenia. Może to być rozmieszczenie segmentami na poboczniczy silosu dodatkowych opasek stalowych z płaskowników połączonych w tzw. zamkach umożliwiających wstępny naciąg obręczy. Innym rozwiązaniem jest zastosowanie niskotarciowych kabli sprężających kotwionych w pilastrach albo za pomocą złączy X (fotografia) lub dodatkowych siatek ze stali zbrojeniowej pokrywanych warstwą betonu w formie torkretu. Lokalne zarysowanie można naprawiać, stosując taśmy lub maty z włókna węglowego albo mineralnego, np. taśmy i maty CFRP. W przypadku wystarczającej ilości zbrojenia zarysowanie ścian eliminuje się, stosując iniekcję żywiczną lub mineralną. Przy mniejszych pracach remontowych naprawy ścian wykonuje się z rusztowań wiszących, natomiast gdy jest duży zakres robót naprawczych, stanowiska robocze stanowią rusztowania wybudowane na części lub na całej wysokości silosu.



Wzmocnienie silosu obręczami stalowymi i kablami sprężającymi
Silos strengthening by steel hoops and prestressing cables

Wzmocnianie ścian silosu stalowymi obręczami

Wzmocnieniu podlegał silos na rzepak wybudowany w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Tuż po wybudowaniu został on wzmocniony opaskami stalowymi z płaskowników 8 x 80 mm ze stali 34GS w rozstawie co ok. 1,1 m. Po wielu latach eksploatacji elementy wzmocnienia (płaskowniki i elementy tworzące zamki) uległy znacznej korozji. Inwestor ze względów oszczędnościowych wybrał ponowne wzmocnienie ścian za pomocą nowych płaskowników. Z powodu zwiększonych wartości naporów normowych, w porównaniu do czasu pierwszego wzmocnienia silosu, zaprojektowano większą liczbę obręczy. Zachowano te same wymiary i rozwiązania konstrukcyjne. W projekcie wzmocnienia wykonano obliczenie wartości wstępnej siły sprężającej oraz zalecono kontrolę naprężeń w opaskach na miejscu budowy. Założono wartość minimalnej siły sprężającej, pozostającej w opasce, wynoszącej 20% całkowitej siły rozciągającej w ścianie silosu przenoszonej przez opaski. Wartość siły sprężającej obliczono w opasce z uwzględnieniem strat spowodowanych termiką ($\Delta T = 40^\circ$) i reologią (relaksację stali oszacowano na 8%). Wstępną siłę sprężającą wprowadzono za pomocą klucza dynamometrycznego, dokręcając śruby w zamkach. Wartość siły w kluczu określono na podstawie wzoru zaczerpniętego z prac [3, 4]:

$$M_s^{(1)} = 0,18 \cdot d \cdot S_{os} / n \quad (2)$$

$$M_s^{(2)} = 0,5 \cdot S_{os} \cdot d_p \cdot \lg(\rho^* + \gamma) \quad (3)$$

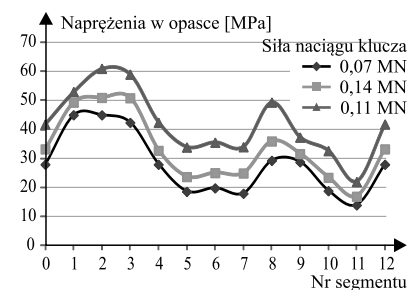
gdzie:

d – średnica trzpienia śruby; 0,18 – współczynnik dla śrub metrycznych; S_{os} – siła rozciągająca śrubę; n – liczba śrub w złączu; r – zredukowany kąt tarcia; m – współczynnik tarcia; $\rho^* = \arctg(m)$; γ – kąt wzniosu linii śrubowej; h – skok gwintu; d_p – średnica podziałowa śruby; $\gamma = \arctg[h/(\pi \cdot d_p)]$.

Opaskę złożoną z dwunastu segmentów połączonych zamkami założono, podwieszając ją do przymocowanych do ścian silosu haków z prętów $\phi 4,5$ rozmieszczonych dość gęsto (co ok. 60 cm) na obwodzie silosu, które jednocześnie stanowiły podkładki pomiędzy opaską i ścianą silosu. Poszczególne segmenty opaski scalano, dokręcając 2 śruby w zamkach kluczem dynamometrycznym do określonej siły. Na kilku opaskach przeprowadzono badania odkształceń, na podstawie których określono ich zgodność z obliczeniami siły naciągu z naprężeniami panującymi w opasce.

Wartości naprężeń w opasce podczas wstępnego sprężania obliczone na podsta-

wie pomierzonych odkształceń pokazano na rysunku 2. W ciągu pierwszych 8 h obserwowano spadek wartości naprężeń w opaskach, który wynosił ok. 1% (tzw. ułożenie się opaski do podłoża). Na podstawie przeprowadzonego doświadczenia skorygowano wartość siły na kluczu dynamometrycznym i w ten sposób sprężono wszystkie opaski na wysokości ściany silosu. Na opaskach na każdym z 12 składowych segmentów założono bazę pomiarową z czujnikiem (rysunek 2). Bazę założono tuż



Rys. 2. Rozkład naprężeń w opasce stalowej
Fig. 2. Stress distribution in a steel hoop

przy śrubie naciągowej lub w środku rozpiętości segmentu opaski. Systematycznie kluczem dynamometrycznym naciągano opaski zgodnie ze schematem – co drugi segment. Na podstawie końcowych obliczeń stwierdzono, że średnia siła sprężająca wynosi 16% projektowanej siły naciągu ze współczynnikiem zmienności ok. 30%. Nierównomierność w rozkładzie siły w opasce spowodowana była punktowym (przez podkładki z prętów) przekazywaniem siły ze śrub w zamku na ścianę silosu.

Przyjęta metoda rekonstrukcji otuliny, uzupełnienie brakującego zbrojenia, sposób sprężenia oraz dobór asortymentu materiałów używanych podczas remontu zależą od indywidualnych warunków i stanu technicznego remontowanych silosów.

Fotografia – Autorzy

Literatura

- [1] Kaminski M., Maj M., The computational estimating of safety load factors and silo wall strength according to experimental and theoretical loads of pressure of bulk materials, SEMC 2010: The 4th International Conference on Structural Engineering, 6 – 8.09.2010, Cape Town, South Africa.
- [2] Maj M., Ubysz A., Some methods of repairing of chimney cracked reinforced concrete wall. TISNOB Poznań 2014.
- [3] Biegus A. – „Połączenia śrubowe”, PWR, WBLiW, 2010
- [4] Kurzycha K., „Badanie napięcia wstępno w łącznikach śrubowych” PGd WM Katedra KEM, Gdańsk 2000.

Przyjęto do druku: 08.08.2015 r.