

dr hab. inż. Jacek Hulimka, prof. Pol. Śl.^{1*)}
dr inż. Rafał Krzywoń¹⁾

Stan techniczny żelbetowych silosów mączki kamiennej po 40 latach eksploatacji

Condition of stone powder RC silos after 40 years of use

DOI: 10.15199/33.2015.09.22

(Studium przypadku)

Streszczenie. W artykule opisano stan techniczny baterii czterech silosów homogenizacyjnych mączki kamiennej w cementowni. Silosy, wysokości ponad 60 m i średnicy 19 m, użytkowane są w sposób ciągły od 40 lat. Po 20 latach eksploatacji dwa z nich wzmocniono wstępnie naprężonymi opaskami stalowymi. W 2014 r. wykonano szczegółowy przegląd konstrukcji oraz badania materiałowe pobranych próbek i na tej podstawie oceniono stan techniczny silosów oraz sformułowano zalecenia dotyczące remontów.

Słowa kluczowe: silos żelbetowy, ekspertyza, badania betonu, zalecenia remontowe.

Abstract. The article describes the condition of the group of four stone powder homogenizing silo in a cement plant. Silos, with a height of over 60 m and 19 m in diameter, are in use continuously for 40 years. After 20 years of exploitation, two silos were strengthened with pre-tensioned steel rings. In 2014 a review of the structure was done and materials tests of samples taken from the structure. They have become the basis for the evaluation of technical condition of silos and formulation of repair recommendations.

Keywords: reinforced concrete silo, expertise, concrete tests, repair recommendations.

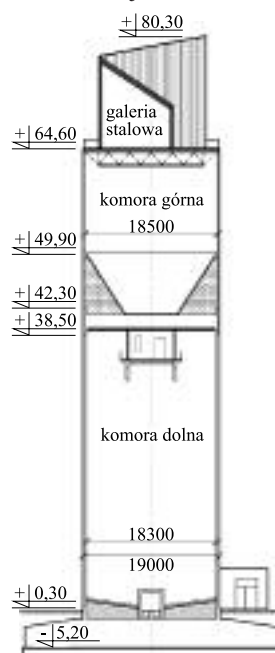
Baterię zbiorników homogenizacyjnych mączki kamiennej wzniesiono w 1975 r. Tworzą ją dwie symetryczne pary silosów wykonanych w technologii deskowań przestawnych. Całą konstrukcję zaprojektowano z betonu $R_w = 200$ at. i zazbrojono stalą gatunku 34GS. Każdy z silosów ma wysokość 64,6 m i składa się z dwóch komór przedzielonych poziomym stropem na wysokości 41,3 m. Komory wszystkich silosów mają przekrój kołowy o zewnętrznej średnicy 19,0 m. Grubość ścian komór do wysokości ok. 39,0 m wynosi 0,35 m, a powyżej 0,25 m. Silosy posadowione są na fundamentach płytowych grubości 4,0 m. Nad silosami na wysokości 80,30 m znajduje się stalowa galeria, mieszcząca pomosty transportowe i urządzenia technologiczne. Górną komorę pokrywa strop żelbetowy w postaci płyty grubości 0,20 m opartej na stalowych dźwigarach kratowych. Pomiędzy komorami wbudowano żelbetowy strop płytowy grubości 1,8 m.

W połowie lat dziewięćdziesiątych XX wieku, z uwagi na zarysowania płaszcza oraz stwierdzone nieprawidłowości w ukształtowaniu zbrojenia, jedną z par silosów wzmocniono przez częściowe sprężenie stalowymi opaskami i pokryto cienkowarstwową powłoką ochronną. Druga para pozostała niewzmocniona, natomiast w późniejszym okresie zabezpieczono ją powierzchniowo po-

włoką typu PCC grubości ok. 10 mm. W całym okresie użytkowania silosy podlegały wielokrotnym przeglądom, ocenom stanu technicznego i ekspertyzom.

Zbiorniki mączki od początku stały się poligonem doświadczalnym do badań obciążeń i trwałości konstrukcji. W tym celu ściany i dno silosu wyposażone zostały w czujniki do badań temperatury i naporu mączki. Pomiary te prowadził zespół pracowników Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej. Analiza zachowanej dokumentacji eksperckiej [1, 2, 3] wskazuje na liczne odstępstwa wykonawcze od projektu, a w tym na poważne zmniejszenie ilości zbrojenia obwodowego we fragmentach dwóch silosów. Prowadzone pomiary naporów w połączeniu z występującym obrazem rys i ich rozwarością oraz tensometrycznymi pomiarami odkształceń podczas napełniania i opróżniania, posłużyły do określenia rzeczywistych naprężeń w zbrojeniu płaszcza silosów. W ten sposób ujawniono znaczne zapasy nośności rzeczywistego zbrojenia, co pozwoliło na postawienie tezy, że pomimo mniejszej ilości zbrojenia (niż przewidywał to projekt)

i nieuwzględnienia w projekcie wstępnego ogrzania ścian, istnieje jeszcze znaczna rezerwa nośności. W ekspertyzie z 1992 r. znalazło się jednak zalecenie wykonania stalowych opasek sprężających o przekroju wystarczającym do zastąpienia połowy zbrojenia zewnętrznego. Ostatecznie, wzmocnienie ścian zbiorników zaprojektowane zostało w formie opasek ze stali 18G2 o przekroju 100×12 mm, rozmieszczonych do wysokości 3/4 dolnej komory zbiorników w ilości zastępującej połowę zbrojenia zewnętrznego oraz do wysokości 2/3 górnej komory zbiorników w ilości zastępującej 25% zbrojenia zewnętrznego. Każda opaska składa się z sześciu części połączonych przez spawanie z nakładką. W celu zmniejszenia tarcia opasek o beton ściany silosu, zastosowano łożyskowanie w formie przekładek z prętów $\varnothing 10$ mm na podkładkach. Projekt wzmocnienia przewidywał wstępny naciąg (przy pustym zbiorniku) opasek siłą ok. 84 kN. Sprężenie realizowano przez dokręcenie sześciu śrub dystansowych M30 równomiernie rozmieszczonych na obwodzie. Po sprężeniu przestrzeń pomiędzy ścianą a opaską wypełniono zaprawą cementową i po stwardnieniu uszczel-



Rys. 1. Przekrój silosu
Fig. 1. Cross-section of silo

¹⁾ Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

^{*} Adres do korespondencji:

e-mail: jacek.hulimka@polsl.pl

ZBIORNIKI NA MATERIAŁY SYPKIE I CIECZE

niono od góry Olkitem. Opisane wzmocnienie zastosowano w dwóch silosach (fotografia). Poza wymienionymi naprawami, silosy mączki były eksploatowane bezawaryjnie.



Szczegół wzmocnienia
Strengthening detail

Obecny stan techniczny konstrukcji silosów

W ramach prowadzonych przez nas prac stwierdzono wiele wad i uszkodzeń, wśród których wymienić należy:

- widoczne nieregularnie rozmieszczone odchylenia od powierzchni walcowej, sięgające 0,20 m; deformacje te były sygnalizowane od chwili wykonania silosów;
- liczne drobne rysy, widoczne zwłaszcza w zbiornikach wzmocnionych opaskami; w pozostałych dwóch zbiornikach są one zapewne ukryte pod zaprawą naprawczą;
- liczne rdzawe nacieki powierzchniowe, związane z korozją stalowych opasek;
- wykruszanie się zaprawy spod opasek; kilkucentymetrowe kawałki upadające wokół silosów mogą stanowić znaczne niebezpieczeństwo dla przebywających tam pracowników;
- lokalne odspojenie i zarysowania zaprawy naprawczej; głuchy odgłos podczas ich ostukiwania świadczy o odspojeniu od powłoki silosu;
- raki i rozwarstwienia betonu w liniach styków deskowań;
- niedostateczną otulinę części prętów zbrojeniowych;
- uszkodzenia i wady elementów wyposażenia i obudowy silosów, w większości w postaci korozji stalowych elementów.

Wyniki badań materiałowych

Zarówno wyniki badań niszczących (na próbkach rdzeniowych), jak i badania sklerometryczne w miejscach o prawidłowej strukturze pozwalają na zaliczenie betonu w ścianach silosów do klasy C20/25, to jest powyżej projektowanych paramet-

trów ($R_w = 200$ at.). Badania chemiczne próbek betonu pobranych z otuliny wykonano przy użyciu pH-metru oraz chromatografu jonowego. Uzyskane wyniki to:

- odczyn pH $9,36 \div 11,58$;
- stężenie jonów chlorkowych $0,005\% \div 0,023\%$ (w odniesieniu do masy cementu);
- stężenie jonów siarczanowych $0,418 \div 2,125\%$ (w odniesieniu do masy cementu).

Tylko w jednym z silosów odczyn pH wskazywał na wyraźną karbonatyzację powierzchniowej warstwy betonu, jednak poza zakresem będącym przesłanką do wykonania realkalizacji. Zawartość jonów chlorkowych była znacznie poniżej dopuszczalnej wartości (przyjętej jako 0,2%), natomiast zawartość jonów siarczanowych nie przekraczała wartości dopuszczalnej, przyjętej jako 3%. Należy więc uznać, że beton w ścianach silosów nie jest zagrożony korozją chlorkową lub siarczanową.

Zalecenia remontowe

Ocenie stanu technicznego konstrukcji poddano przede wszystkim ściany i stropy silosów. Odstąpiono od szczegółowej oceny nośności konstrukcji, bowiem ta była przedmiotem wielu wcześniejszych opracowań, w których wykazano spełnienie wymagań SGN. Szczegółowo przeanalizowano prowadzone od 20 lat pomiary przemieszczeń, stwierdzając różnice położenia reperów w zakresie uzasadnionym stanem napełnienia komór. Widoczne zarysowania ścian były niewielkie i stabilne. Wyniki badań chemicznych wskazywały na brak istotnego zagrożenia korozyjnego. W podsumowaniu stwierdzono, że konstrukcja silosów nie jest zagrożona wyczerpaniem któregokolwiek ze stanów granicznych.

Obserwowane w konstrukcji wady i uszkodzenia podzielić można na dwie grupy:

- błędy wykonawcze, które odpowiadają za odchylenia powierzchni walcowej płaszcza zbiorników, wadliwie wykonane styki pomiędzy kolejnymi cyklami betonowania (raki i rozsortowania) oraz odstępstwa w rozmieszczeniu i sposobie wykonania zbrojenia;
- degradację konstrukcji w wyniku wieloletniej eksploatacji, w tym agresywnego działania czynników atmosferycznych, takich jak deszcz i temperatura, zwłaszcza zmieniająca się cyklicznie (zamrażanie i odmrażanie) oraz zmiany temperatury w wyniku nasłonecznienia.

W sumie stan techniczny silosów określono jako dość dobry. Jednak ze wzglę-

du na postępującą korozję powierzchnią opasek wzmocniających, miejscowo słabą przyczepność powłok naprawczych do podłoża oraz liczne lokalne wady struktury betonu, zalecono wykonanie wielu prac remontowych, a w tym:

- ▶ mechaniczne usunięcie wszystkich odspojonych lub osłabionych fragmentów betonu;
- ▶ oczyszczenie powierzchni betonu i stalowych opasek;
- ▶ wykonanie typowej reprofiliacji w wybranym systemie PCC (z zabezpieczeniem odsłoniętego zbrojenia i iniekcją rys);
- ▶ nałożenie powłok ochronnych na beton i stalowe elementy;
- ▶ zabezpieczenie (uszczelnienie) styków opasek ze ścianą.

Podsumowanie

Przedstawione w artykule silosy wykonane zostały z wieloma błędami, w tym tak poważnymi jak znacznie mniejsza ilość zbrojenia obwodowego niż przewidywał projekt i jego nieprawidłowe zakotwienie. Pomimo tego, dzięki szybkiemu obciążeniu fachowym nadzorem silosów, ponownym przeliczeniu obciążeń na podstawie pomiarów rzeczywistych i wbudowaniu obwodowych wzmocnień udało się doprowadzić konstrukcję do stanu pozwalającego na wieloletnią, bezawaryjną eksploatację. Przegląd i badania wykonane przez nas w 2014 r. potwierdziły dość dobry stan techniczny konstrukcji i możliwość dalszego jej użytkowania. Wskazane do wykonania prace remontowe ograniczone były do napraw lokalnych pierwotnych wad struktury betonu oraz zabiegów usuwających skutki typowych uszkodzeń powierzchniowych wynikających z narażenia obiektu na wpływy atmosferyczne.

Literatura

- [1] Marcinkowski Z.: Badania naporu mączki surowcowej w zbiorniku homogenizacyjnym Cementowni. Politechnika Wrocławska, Instytut Budownictwa, 1978.
- [2] Banach R. Doświadczalny napór mączki surowcowej w zbiornikach homogenizacyjnych w Cementowni. Politechnika Wrocławska, Instytut Budownictwa, 1986.
- [3] Borecz A., Dmochowski G., Kucharska L., Minch M., Trochanowski A.: Opinia o stanie technicznym konstrukcji ścian silosów cementu zbiorników homogenizacyjnych i silosów na pyły dymnicowe w Zakładach Cementowo-Wapiennych. Politechnika Wrocławska, Instytut Budownictwa, 1992.

Przyjęto do druku: 04.08.2015 r.