

prof. dr hab. inż. Leonard Runkiewicz^{1*)}
dr hab. inż. Paweł Lewiński, prof. nadzw. ITB¹⁾

Diagnostyka i monitorowanie częściowo sprężonego silosu do magazynowania klinkieru

Diagnostics and monitoring of the partially prestressed concrete silo for clinker storage

DOI: 10.15199/33.2015.09.30

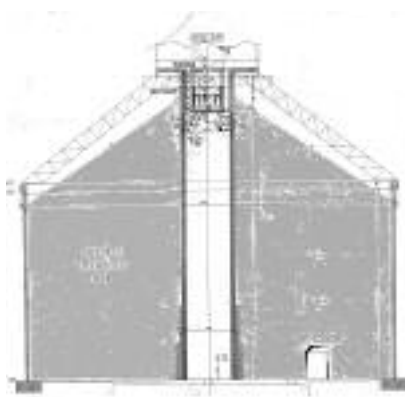
(Oryginalny artykuł naukowy)

Streszczenie. Artykuł dotyczy diagnostyki i monitorowania silosu częściowo sprężonego przeznaczonego do magazynowania klinkieru znajdującego się na terenie kombinatu cementowo-wapienniczego. Silos wykonano w 1998 r. Obserwacje stanu technicznego silosu wykazały, że na powierzchni zewnętrznej ściany żelbetowej u dołu są pionowe zarysowania i objawy rozszczelnienia. W tej sytuacji konieczne było zalecenie obniżenia poziomu składowania materiału w silosie przy założeniu ewentualnego, stopniowego jego podwyższenia po okresie próbnych obciążeń.
Słowa kluczowe: diagnostyka, monitorowanie, silos, magazyn klinkieru, zarysowania.

Abstract. The subject of this paper is a diagnostics and monitoring of partially prestressed concrete silo for storing clinker, located at the cement and lime works. The silo was erected in 1998. The observations of the technical state of the silo showed that the outer surface of external wall has a row of vertical cracks at the bottom and the signs of unsealing. In such situation it was necessary to recommend a reduction of the level of storage of bulk material in the silo assuming a possible gradual increase of this level after a series of loading tests.

Keywords: diagnostics, monitoring, silo, storing of clinker, cracks.

W Polsce silosy żelbetowe i sprężone, z uwagi na ich stan techniczny, od wielu lat poddawane były badaniom diagnostycznym, analizom i monitoringowi. Prace te prowadziły różne zespoły badawcze z politechnik [1] oraz ITB [2 ÷ 4]. W artykule omówiono diagnostykę i monitorowanie silosu z betonu częściowo sprężonego, przeznaczonego do magazynowania klinkieru wzniesionego w 1998 r., znajdującego się na terenie kombinatu cementowo-wapienniczego. Jego komora ma wysokość 27,0 m do górnego poziomu wieńca pierścieniowego ściany i 42,5 m do poziomu stropu nad kopułą stożkową oraz średnicę wewnętrzną 50,0 m. Przekrój pionowy silosu przedstawiono na rysunku 1. Ściany płaszcz zewnętrzny zaprojektowano jako żelbetowe monolityczne grubości 40 cm z betonu ówczesnej klasy B40, częściowo sprężone kablami – od poziomu oparcia na pierścieniu fundamentowym do poziomu oparcia pierścieniowego wieńca podporowego kopuły nad silosem. Fundamenty pod ścianami są żelbetowe pierścieniowe szerokości 3,50 m i wysokości 1,50 m, posadowione na baretach o przekroju 0,80 x 2,80 m. Płaszcz zewnętrzny wykonano z zastosowaniem de-



Rys. 1. Przekrój pionowy silosu klinkieru
Fig. 1. Vertical cross-section of clinker silo

skowań ślizgowych, a następnie sprężono kablami składającymi się z 7 oraz 12 spłotów 7 Ø 5 mm o wytrzymałości na rozciąganie 1770 MPa. Krzyżowy układ kotwienia kabli sprężających usytuowano w lizenach (pilastrach) szerokości 3,9 m wysuniętych ze ścian na 40 cm, z zastosowaniem bloków kotwiących typu BBV. Każdy kabel przebiega przez 3 pilastry i w skrajnych jest zakotwiony. Zabezpieczenie cięgien sprężających po sprężeniu zaprojektowano w postaci iniekcji przez bloki kotwiące usytuowane w pilastrach. W płaszczu częściowo sprężonym zaprojektowano także obustronne zbrojenie zwykle ze stali A-III o granicy plastyczności przy rozciąganiu 410 MPa

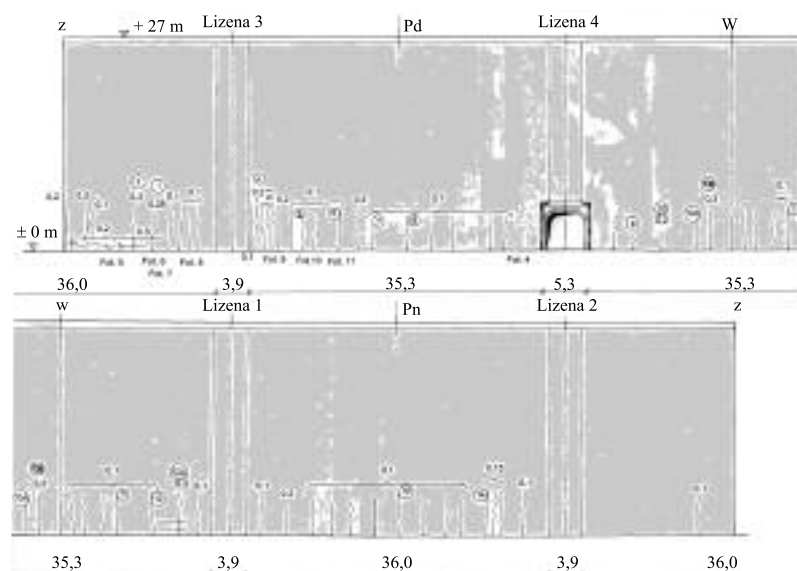
w postaci 2 siatek z prętów od strony zewnętrznej i od strony wewnętrznej. Kopułę nad silosem wysokości 5,5 m wykonano jako ruszt stożkowy składający się z 32 stalowych wiązarów kratowych rozstawionych promiennie po obwodzie, zamocowanych w centralnej wieży zasypowej i opierających się w sposób przesuwany na ścianie zewnętrznej, pokrytych blachą. Na stropie nad silosem znajduje się nadbudówka urządzeń załadowniczych średnicy 12,4 m i wysokości 11,7 m oraz opiera się estakada przenośnika taśmowego w postaci stalowej kratownicy przestrzennej pokrytej blachą fałdową.

Badania in situ konstrukcji silosu częściowo sprężonego

Obserwacje stanu technicznego silosu wykazały, że na powierzchni zewnętrznej ściany żelbetowej u dołu są pionowe zarysowania i objawy rozszczelnienia. W otoczeniu bramy wjazdowej usytuowanej w osi lizeny nr 4 widać objawy jej odspojenia od płaszczyny ściany. Sprzyjało to penetracji do wnętrza ściany i znajdujących się pod jej powierzchnią zakotwień kabli sprężających wód opadowych i agresywnych związków występujących w gazach poprodukcyjnych. W tej samej strefie (między lizenami nr 3 i nr 4) nastąpiło też pęknięcie plomb gipsowych, wcześniej nałożonych na zewnętrzne ściany silosu. Największa szerokość zarysowania w dolnej strefie ścian zewnętrznych

¹⁾ Instytut Techniki Budowlanej

^{*)} Autor do korespondencji – e-mail: l.runkiewicz@itb.pl



Rys. 2. Widok płaszcza silosu klinkieru na rozwinięciu – inwentaryzacja uszkodzeń; odcinek Z–Pd–W – strona południowo-zachodnia i południowo-wschodnia; odcinek W–Pn–Z – strona północno-wschodnia i północno-zachodnia; 0,1 – rysa pionowa w płaszczu silosu o szerokości rozwarcia 0,1 mm

Fig. 2. The view of clinker silo wall on unfolded drawing – damage inventory; segment Z–Pd–W – south-west and south-east side; segment W–Pn–Z – north-east and north-west side; 0,1 – vertical crack in silo coat of 0.1 mm width

silosu (rysy pionowe między lizenami nr 2 i nr 3) wynosiła 0,3 mm (rysunek 2). Rysy poziome również szerokości 0,3 mm wystąpiły tuż nad strefą styku żelbetowej monolitycznej ławy pierścieniowej z konstrukcją ścian silosu po obu stronach lizeny nr 3.

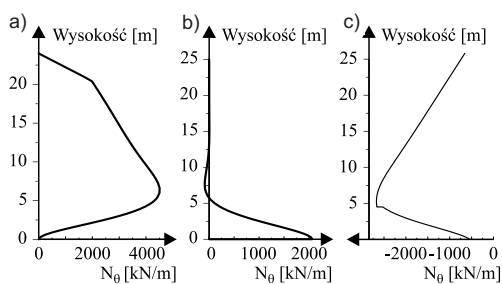
Analiza obliczeniowa

Przeprowadzono obszerne badania i analizy statyczno-wytrzymałościowe (zgodne z aktualnymi normami), wykorzystując autorski pakiet programów komputerowych do obliczania silosów i zbiorników [3]. Wyznaczono siły tarczowe i momenty zginające od poszczególnych typów obciążeń. Z rysunku 3 wynika, że ani siły równoleżnikowe od parcia klinkieru, ani tym bardziej siły ściskające od docisku radialnego od sprężenia nie mogły spowodować zarysowań w dolnej części powłoki. Rysy spowodowały siły równoleżnikowe od skurczu betonu i skurczu termicznego powłoki, na co wskazywał też typ uszkodzeń. Z analizy dokumentacji technicznej obiektu wynikało natomiast, że zbrojenie płaszcza silosu podane na rysunkach konstrukcyjnych miało znacznie mniejszy przekrój poprzeczny (o ok. 30%), niż uzyskano to z obliczeń statycznych projektowych. Prowadziło to do istotnego zmniejszenia nośności ścian silosu w przekrojach pionowych. W tej sytuacji konieczne

było zalecenie kilkuprocentowego obniżenia poziomu składowania materiału w silosie, zakładając ewentualne stopniowe podwyższenie poziomu zasypywania silosu po okresie próbnych obciążeń. Gdyby zbrojenie płaszcza wykonano zgodnie z obliczeniami statycznymi, nie byłyby konieczne (jak wynika z obliczeń sprawdzających) jakiegokolwiek ograniczenia dotyczące użytkowania silosu. Podczas prowadzonych badań i obserwacji następowała jednak stabilizacja rys.

Monitorowanie szerokości rozwarcia rys

Monitorowaniu rozwoju uszkodzeń konstrukcji i szerokości rozwarcia rys poddano tunele transportowe oraz płaszczy silosu. Na istniejące rysy pionowe od strony ze-



Rys. 3. Wykres siły równoleżnikowej N_0 w ścianie silosu: a) od parcia klinkieru; b) od skurczu betonu powłoki; c) od docisku radialnego od sprężenia

Fig. 3. The plot of circumferential force in the silo wall resulting from: a) cement-clinker pressure; b) shrinkage of concrete of the shell; c) radial pressure caused by prestressing

wewnętrznej płaszcza silosu, na wysokości 1,5 m powyżej poziomu terenu, zostały nałożone kontrolne plomby gipsowe: trzykrotnie w 2000 r. i raz na początku 2001 r. W przypadku plomb zarysowanych rozwarcie rys było niewielkie – nie przekraczało 0,1 mm. Najwięcej uszkodzeń dotyczyło pierwszej serii plomb założonych wiosną 2000 r. W wyniku analizy uszkodzeń z tego okresu, latem i jesienią 2000 r. założono 2. i 3. serię plomb. W przypadku 3. serii nie stwierdzono żadnych pęknięć podczas badań na początku 2001 r. A zatem zmiany szerokości rozwarcia rys w czasie wskazywały na stopniowy zanik dalszej propagacji uszkodzeń.

Podsumowanie i wnioski

Wnikliwa analiza i uwzględnienie w obliczeniach wszelkiego rodzaju obciążeń, w tym obciążeń dystorsyjnych, takich jak skurcz termiczny i skurcz betonu czy nierównomierne osiadanie, pozwolą uniknąć w przyszłości nieoczekiwanych uszkodzeń konstrukcji, również sprężonych. Podstawą niezawodności pracy konstrukcji omawianych silosów jest opracowanie właściwego programu sprężania. Skuteczny system zapewnienia jakości robót betonowych i zbrojarskich, kontroli sił sprężających, a także zabezpieczeń antykorozyjnych decyduje o trwałości silosów.

Eksploatacja silosów żelbetowych i sprężonych wymaga ścisłego przestrzegania przewidzianych w projekcie zasad napełniania i opróżniania komór. Wszelkie przypadki nieszczelności i zawilgożenia obiektu wymagają szybkiej interwencji. Wykonywanie systematycznych, częstych i dokładnych przeglądów technicznych oraz badań diagnostycznych z udziałem rzeczoznawców zapewni długotrwałe użytkowanie obiektu.

Literatura

- [1] Halicka A., Franczak D.: Projektowanie zbiorników żelbetowych. T. 1. Zbiorniki na materiały sypkie, PWN, Warszawa, 2011.
- [2] Kuś S.: Konstrukcje sprężone kołowo-symetryczne. Arkady, Warszawa 1960.
- [3] Lewiński P. M.: Modele sprężyste współpracy żelbetowych i sprężonych silosów cylindrycznych z podłożem, Monografie ZWMTSIP, T. 3, rozdział IX, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2013, s. 121-134.
- [4] Runkiewicz L., Plechawski S.: Silosy żelbetowe na materiały sypkie po wzmocnieniu. 11 Konf. „Żelbetowe i sprężone zbiorniki na materiały sypkie i ciecze”, Świeradów Zdrój, 18-21.10.2000, Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000, s. 177 – 184.

Przyjęto do druku: 13.08.2015 r.