

# Wybrane problemy związane z eksploatacją, naprawą prefabrykowanych silosów na materiały sypkie

Prof. dr hab. inż. Mieczysław Kamiński, dr inż. Marek Maj, Politechnika Wroclawska

## 1. Wprowadzenie

Na przełomie lat 60. i 70. ubiegłego stulecia wybudowano w Polsce dużą liczbę żelbetowych silosów, monolitycznych i prefabrykowanych. Wiele spośród tych silosów jest nadal intensywnie eksploatowanych bez gruntownych napraw i wzmocnień. Użytkownicy tych konstrukcji często ograniczają się jedynie do bardzo powierzchownych napraw, wychodząc z założenia że żelbet jest materiałem długowiecznym, odpornym na wpływy środowiska [1, 2]. Dodatkowo w ostatnim półwieczu zwiększyły się ponad dwukrotnie wartości normowych obciążeń oddziaływań w silosach [3, 4]. Jednocześnie podniesiono wymagania dotyczące trwałości betonu i stali zbrojeniowej [4]. W wyniku zaistniałych zmian wiele konstrukcji silosów wybudowanych w minionym czasie nie spełnia dziś podstawowych warunków bezpiecznego użytkowania [5]. Powyższe zmiany wynikają z wielu opracowań dotyczących diagnostyki i ocen stanu technicznego silosów [6] oraz obliczeń wg nowych norm silosowych zamieszczonych w [7, 8]. Z [6, 7, 8] wynika, że na skutek długoletniej eksploatacji silosów oraz oddziaływań czynników atmosferycznych obniża się odporność korozyjna i mechaniczna betonu i stali [9], objawiająca się najczęściej uszkodzeniami otuliny zbrojenia i zbyt szerokimi rysami. W prefabrykatkach na skutek korozji stali i betonu osłabieniu ulega-

ją łącza elementów prefabrykowanych, tzw. zamki. Powstające rysy, nadmierne odkształcenia w postaci przemieszczeń i obrotów „zamków”, zmniejszenie się współpracy stali i betonu wpływają na powiększenie się mimośrodków i zmniejszenie nośności konstrukcji.

Remonty mają na celu zasadniczo odtworzenie dotychczasowej struktury i funkcji budowli, a wzmocnienie polega na zwiększeniu nośności przez eliminację najłabszych punktów konstrukcji. Nie zawsze istnieje możliwość wzmocnienia obiektu poprzez stosowanie prostych rozwiązań. Często trzeba uciekać się do zmiany schematów statycznych bądź sposobu przyłożenia dotychczasowych obciążeń, zmiany funkcji elementów nośnych lub zwykłego ograniczenia wartości oddziaływań (np. poprzez

obniżenie wysokości składowanego materiału). Wybrane metody naprawy uszkodzonych elementów konstrukcji są często związane z wyborem sposobu ich wzmocnienia.

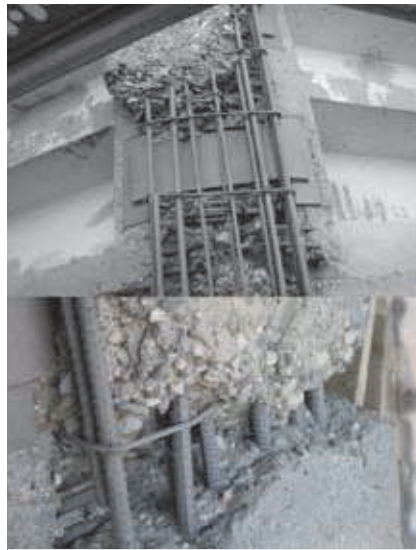
## 2. Stosowane rozwiązania – naprawa i wzmocnienie silosów

Ogólnie stosowane są następujące metody napraw i wzmocnienia:

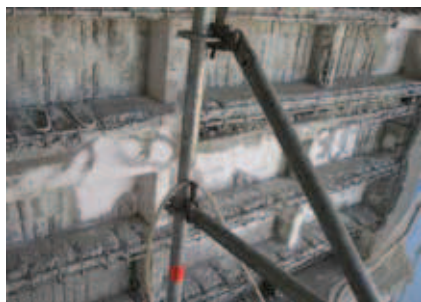
1. Najważniejsze bieżące naprawy i dalsza, krótkotrwała eksploatacja silosów przy wypełnieniu ich do obniżonego poziomu wysokości silosów.
2. Naprawa uszkodzonych elementów konstrukcyjnych silosu, polegająca na wymianie lub uzupełnieniu skorodowanej stali zbrojeniowej, reprofilacji i uzupełnieniu uby-



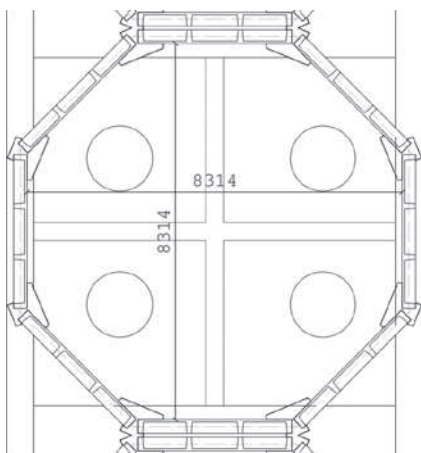
Rys. 1. Remont silosu prefabrykowanego



Rys. 2. Uszkodzone połączenie prefabrykatów



**Rys. 3.** Uszkodzona otulina i zbrojenie elementu prefabrykowanego



**Rys. 4.** Przekrój poziomy silosu prefabrykowanego

ków w skarbonatyzowanej otulinie zbrojenia. Pokrycie powierzchni silosa powłokami malarskimi zabezpieczającymi przed wpływami wilgotnościowymi. Tak naprawiona konstrukcja umożliwia eksploatację silosów do bezpiecznego poziomu wysokości zasypu na dłuższy czas eksploatacji komór.

3. Wzmocnienie ścian silosów prefabrykowanych poprzez np.:

- uzupełnienie stali zbrojeniowej w ścianach,
  - wykonanie dotykowych powłok betonowych powiększających przekrój poprzeczny elementów.
4. Położenie wewnątrz komory silosu na całej wysokości dodatkowego płaszczka stalowego.
5. Wybudowanie nowego płaszczka żelbetowego od strony wewnętrznej.
6. Pełne na całym obwodzie silosu lub odcinkowe sprężenie kablami ścian silosów.
7. Alternatywne wzmocnienie ścian

w kierunku poziomym poprzez umieszczenie na wysokości komór silosów opasek stalowych.

8. Dla materiałów sypkich, zgranulowanych możliwe jest także zastosowanie urządzeń odciążających dostosowanych do rodzaju materiału, zmniejszających wpływ opróżniania i niwelujących wpływ mimośrodowego wypływu magazynowanego materiału sypkiego,

9. Zmniejszenie wartości obciążeń naporem poprzez podzielenie żelbetowymi ścianami wewnątrz komorę na kilka mniejszych, co w efekcie daje odpowiednie zmniejszenie wartości naporu materiału.

10. Mieszane metody wykorzystujące kilka wyżej opisanych sposobów wzmocnienia obiektu.

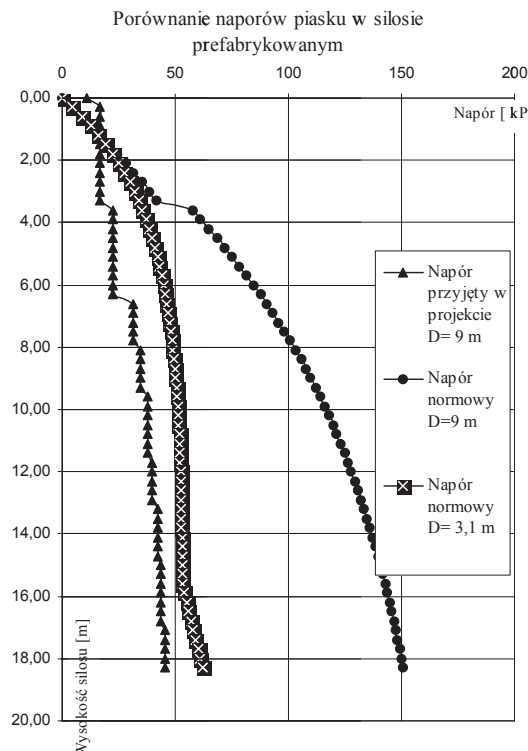
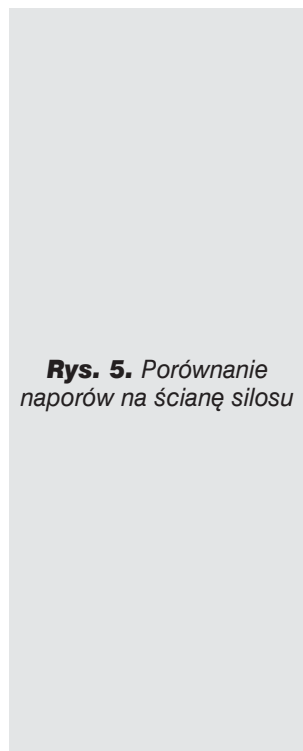
### 3. Przykłady naprawianych silosów prefabrykowanych

#### 3.1. Silosy ośmioboczne na materiały do produkcji szkła

Bateria składa się z pięciu ośmiobocznych silosów prefabrykowanych ustawionych szeregowo i połączonych ze sobą przylegającymi ścianami (rys. 1). Wysokość komór w baterii wynosi 18,3 m, śred-

nica koła wpisanego 8,3 m (rys. 4). Podstawowymi elementami konstrukcyjnymi komór są prefabrykowane płyty żebrowe (rys. 3, 4) o wymiarach 3,33 m x 1,54 m, z żebrami o wymiarach poprzecznych 0,25 m x 0,1 m z płytą grubości 5 cm. Elementy prefabrykowane połączone są po zewnętrznej i wewnętrznej stronie poziomymi blachami (rys. 2). W każdym narożu ośmiobocznego wielokąta silosu wykonane są monolityczne pilastry pionowe scalające prefabrykaty ścienne. Usterki w tej konstrukcji polegały na odpadaniu otuliny, korozji zbrojenia, utracie monolityczności w „zamykach”, segregacji składników betonu podczas wznoszenia konstrukcji. Silosy musiały zostać wzmocnione na skutek zwiększenia się wymagań normowych dotyczących wartości naporu na ściany (rys. 5) oraz zaniżonej wytrzymałości konstrukcji.

Z wymienionych powyżej sposobów naprawy, najskuteczniejszy wydawał się wariant 9, lecz na skutek ograniczeń finansowych wybrano tylko odtworzenie poprzedniej kondycji konstrukcji. Uzupełniono ubytki zbrojenia, wykonano



reprofilację powierzchni betonowych, powiększono otuliny. W tym przypadku zmniejszono wysokość zasypu silosu do połowy.

### 3.2. Silosy prefabrykowane na rzepak w Zakładach Tłuszczowych

Silosy prefabrykowane (rys. 6) złożone z żelbetowych kręgów o średnicy zewnętrznej 6,1 m, wysokości 0,66 m oraz grubości 0,12 m, zespolonych podczas wznoszenia monolitycznymi pionowymi żebrami – pilastrami, które usytuowano w stykach komór oraz po dwa na ścianach zewnętrznych. Wysokość ściany silosu wynosi 25,5 m. Komory zostały wyposażone w centralnie usytuowane, stożkowe, monolityczne leje żelbetowe.

Tak jak w niemalże każdej sytuacji stwierdzono, że obowiązujące normy silosowe wprowadziły o wiele większe wartości naporów niż podczas projektowania tych silosów, co sprawia, że przekroczone są stany nośności granicznej. Usterki techniczne silosów są bardzo podobne do usterek wcześniej opisanych dla silosów ośmiobocznych: degradacja otuliny (rys. 9), zmniejszona nośność zakładów skorodowanego zbrojenia, uszkodzenia pilastrów (rys. 7), powiększone mimośrodowe siły w kierunku pionowym i poziomym.

Zaproponowano metodę wzmocnienia ścian poprzez zastosowanie obwodowych kabli sprężających. Jednak podobnie jak w przypadku silosów ośmiobocznych, przestano na reprofilacji ścian i pilastrów i uzupełnieniu skorodowanej stali zbrojeniowej. Zmniejszono wysokość zasypu do około połowy wysokości.

### 3.3. Silosy ceramiczne drobno-gabarytowe na rzepak w Zakładach Tłuszczowych

Silosy ceramiczne wolnostojące (rys. 10) o wysokości ponad 22 m, średnicy 13,4 m, grubości ścian 0,39 m zbudowane z drobno-gabarytowych elementów ceramicznych. Siły rozciągające w ścianach ceramicznych przenoszą rozmieszczone na całej wysokości silosu żelbetowe



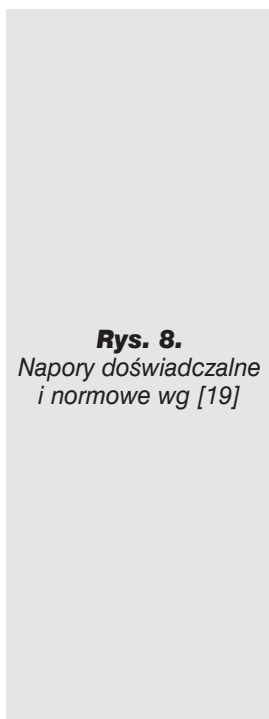
Rys. 6. Bateria silosów zblokowanych



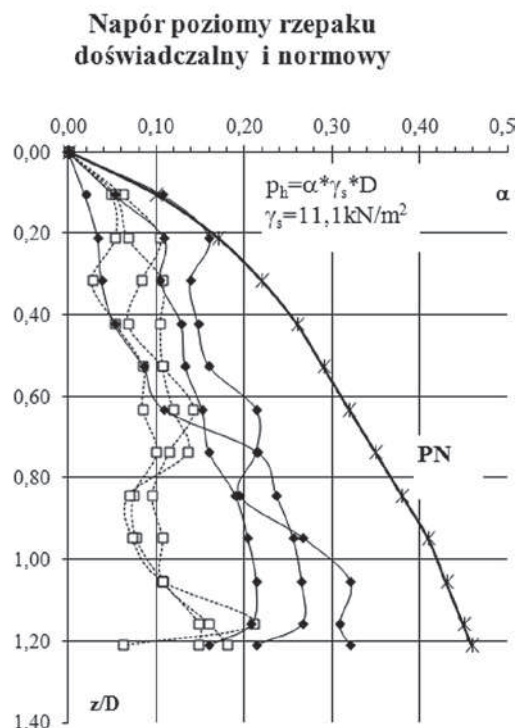
Rys. 7. Uszkodzony pilaster

pięścienie o wymiarach 0,13 m x 0,23 m rozstawione co około 1,2 m (rys. 11). Korozji uległy niektóre elementy ściany ceramicznej, na powierzchni pojawiły się liczne zarysowania na całej wysokości silosu. Na skutek zwiększenia się obciążeń normowych przekroczona została

normowa nośność ścian w kierunku poziomym i pionowym. Na silosach tych przeprowadzono badania wartości naporu rzepaku przy zastosowaniu czujników sond [1, 2, 3]. Wyniki tych badań porównano z istniejącą nośnością silosów oraz z nośnością projektowaną według obo-



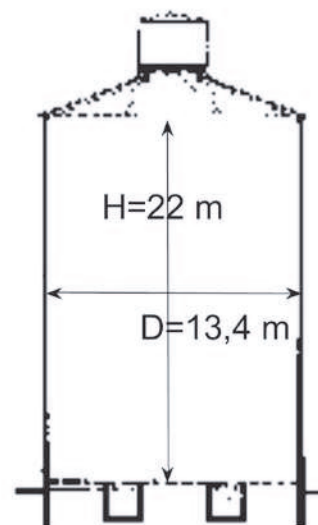
Rys. 8. Napory doświadczalne i normowe wg [19]



Rys. 9. Uszkodzona powierzchnia prefabrykatu



Rys. 10. Silosy ceramiczne w Zakładach Tłuszczowych



Rys. 11. Przekrój silosu

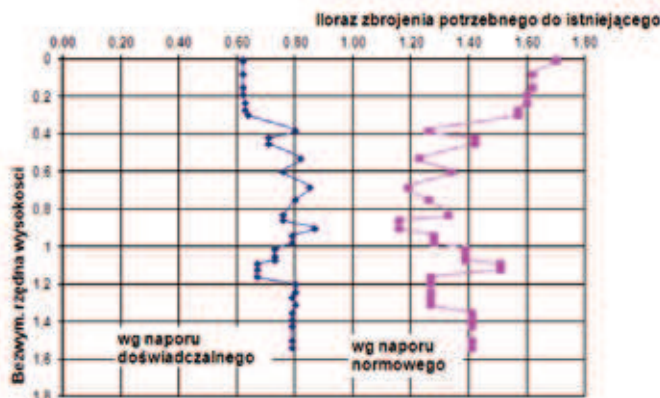
wiążących norm. Na osi poziomej odłożono wartości ilorazu dwóch wielkości, wartości powierzchni zbrojenia obliczonego według normy [4] lub według wartości naporu otrzymanego z badań, do wartości powierzchni zbrojenia istniejącego w ścianie (w żelbetowych pierścieniach). Wyniki badań przedstawiono na rysunku 12, z którego wynika, że na podstawie badań doświadczalnych nośność ścian silosu jest wystarczająca, natomiast na podstawie obowiązujących norm jest zbyt niska.

Zaproponowano metodę wzmocnienia poprzez zastosowanie obwodowych kabli sprężających, równomiernie rozmieszczonych na wysokości ścian silosów. Jednak podobnie jak w poprzednich przypadkach, nie przystąpiono do tego rodzaju prac remontowych. Dodatkowo wystąpiły problemy ze statecznością i zapewnieniem nośności betonowych tuneli poborowych i na długi czas silosy zostały wycofane z bieżącego użytkowania.

#### 4. Wnioski

Modernizacja żelbetowych silosów prefabrykowanych pociąga za sobą wiele koniecznych czyn-

Rys. 12. Porównanie ilości zbrojenia brakującego obliczonego wg różnych metod dla silosów ceramicznych



ności naprawczych. Często są one bardzo kosztowne i dlatego właściciele tych obiektów poprzestają na naprawach powierzchniowych godząc się na ograniczoną eksploatację silosów poprzez tylko częściowe wypełnienie komór zbiorników.

#### BIBLIOGRAFIA

[1] Kamiński M., Mrozowicz J., Maj M., Podolski B., Wróblewski R., Gawron K., Stan awaryjny baterii zablokowanych silosów na nasiona oleiste. XIX Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie budowlane”. Szczecin-Międzyzdroje 1999, s. 821–828  
 [2] Kamiński M., Mrozowicz J., Maj M., Podolski B., Gawron K., Zagrożenia bezpieczeństwa podczas eksploatacji baterii zablokowanych, prefabrykowanych silosów na rzepak. XX Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie budowlane”. Szczecin-Międzyzdroje. 2001, s. 183–190  
 [3] Łapko A., Prusiel J. A., Obliczeniowa

kontrola zarysowania ścian żelbetowych silosów na podstawie Eurokodów, Przegląd Budowlany nr 1/2010

[4] PN- EN 1991-4 Eurokod 1 Oddziaływania na konstrukcje – Część 4: Silosy i zbiorniki  
 [5] Kamiński M., Maj M., Reliability analysis of the global safety index design for concrete silo., The Third Israeli Conference for Conveying and Handling of Particulate Solids, Dead Sea, Israel, May 2004.  
 [6] Runkiewicz L., Diagnostyka konstrukcji budowlanych. Przegląd Budowlany 3/2006, w zakresie nowych norm  
 [7] Niedostatki M., Teichman J., Nowe bezinwazyjne metody pomiarowe zmian porowatości w materiałach sypkich. Przegląd Budowlany nr 5/2007  
 [8] Kawecki J., Rawicki Z., Uszkodzenia konstrukcji silosów na mąkę i stropu silosowni wywołane pracą wibratorów, Przegląd Budowlany, nr 11/1986  
 [9] Czarnecki L., Peter H., Emmons J., Naprawa i Ochrona Konstrukcji Betonowych. Polski Cement 2002 r. str 47