

Niektóre zagadnienia związane z modernizacją żelbetowych prefabrykowanych silosów na materiały do produkcji szkła

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

1. Wprowadzenie

Na przełomie lat 60. i 70. ubiegłego stulecia wybudowano w Polsce dziesiątki nowych zakładów produkcyjnych, w tym dużą liczbę żelbetowych silosów monolitycznych i prefabrykowanych. Wiele spośród tych silosów jest nadal intensywnie eksploatowanych bez żadnych napraw i wzmocnień. Użytkownicy tych konstrukcji często ograniczali się w przeszłości jedynie do bardzo powierzchownych napraw wychodzących z założenia, że żelbet jest materiałem długowiecznym, odpornym na wpływy środowiska [1, 2]. Dodatkowo w ostatnim półwieczu zwiększono ponad dwukrotnie wartości normowych obciążeń obliczeniowych i oddziaływań w silosach [3, 4], przy jednocześnie podniesionych wymaganiach dotyczących 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 zagadnienia przeanalizowano w wielu opracowaniach dotyczących diagnostyki i ocen stanu technicznego silosów [6] oraz obliczeń według nowych norm silosowych [7, 8]. Z prac [6, 7, 8] wynika, że na skutek długoletniej eksploatacji silosów oraz oddziaływań czynników atmosferycznych obniża się odporność korozyjna i mechaniczna betonu oraz stali [9] objawiająca się najczęściej uszkodzeniami otuliny zbrojenia i zbyt szerokimi rysami. Silosy żelbetowe po wielu latach eksploatacji muszą być poddawane jednocześnie naprawom (remontom) i wzmocnieniu. Remonty mają na celu zasadniczo odtworzenie dotychczasowej struktury i funkcji budowli, a wzmocnienie polega na zwiększeniu nośności przez eliminację najsłabszych 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). Przyjmowane w projektach metody naprawy uszkodzonych elementów

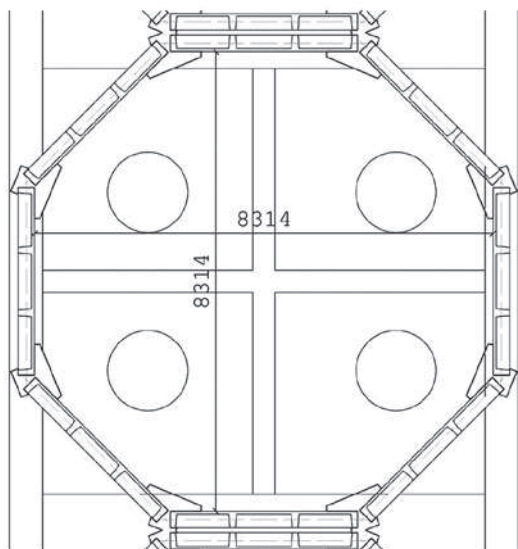
konstrukcji silosów są często związane z wyborem konkretnego sposobu ich wzmocnienia.

2. Opis konstrukcji

Przedstawiona w artykule bateria silosów została wybudowana na początku lat 70. zeszłego stulecia. Bateria składa się z pięciu ośmiobocznych silosów prefabrykowanych ustawionych szeregowo i połączonych ze sobą przylegającymi ścianami (rys. 1, 2). Wysokość komór baterii wynosi 18,3 m, a średnica koła wpisanego 8,3 m (rys. 2). Podstawowymi elementami konstrukcyjnymi komór są prefabrykowane płyty żebrowe (rys. 2, 3) o wymiarach $3,33 \times 1,54$ m,



Rys. 1. Bateria silosów prefabrykowanych przed remontem



Rys. 2. Przekrój poziomy komory silosu prefabrykowanego

z żebrami o wymiarach poprzecznych $0,25 \times 0,1$ m i płytą grubości 5 cm elementy prefabrykowane połączone są po zewnętrznej i wewnętrznej stronie załomu ścian poziomymi blachami (rys. 3, 5).

W każdym narożu ośmiobocznej komory silosu wykonane są żelbetowe pilastry pionowe scalające prefabrykaty ścienne w monolityczne pierścienie ośmioboczne przenoszące poziome siły rozciągające i momenty równoleżnikowe. Pilastry przenoszą ponadto siły pionowe od ciężaru płyt prefabrykowanych ścian silosu i galerii transportowej nad komorami (rys. 4) oraz siły tarcia składowanego materiału o ściany.

Dno silosu złożone jest z żelbetowego rusztu belkowego, na którym wspierają się prefabrykowane ściany silosu. Dwie belki poziome dzielą dno silosu na cztery równe płyty (rys. 2), na których opierają się stalowe leje prefabrykowane. Ruszt wraz z płytą denną wspiera się na sześciu słupach będących przedłużeniem pilastrów. Fundamenty pod słupami wykonane są w postaci żelbetowych pali prefabrykowanych.

3. Uszkodzenia konstrukcji silosów

Podczas oględzin konstrukcji baterii silosów prefabrykowanych stwierdzono typowe błędy jakie popełniano podczas wznoszenia obiektu. Należą do nich: zbyt mała otulina zbrojenia w płycinie i żebrach płyt prefabrykowanych oraz w pilastrach (rys. 3, 4, 5).

Wyjątkowo niedbale wykonano pilastry (rys. 5), w których lokalnie nastąpiło rozsegregowanie kruszywa. Nie zachowano minimalnych odstępów pomiędzy pionowymi prętami i między strzemiionami oraz niedbale wykonano zakłady prętów zbrojeniowych. Dopuszczono do dużych imperfekcji w ścianach silosów. Wyraźnie nierównomiernie rozmieszczono stal

zbrojeniową i skrócono długości zakotwienia zbrojenia. Wieloletnie oddziaływania czynników atmosferycznych z zewnątrz i korozyjnych wewnątrz silosów związanych z eksploatacją obiektu (np. oddziaływanie chemiczne i wysoka wilgotność składowanych w silosie materiałów, wytarcie powierzchni wewnętrznej zbiornika przez składowany materiał słuźczki szklanej itp.) spowodowały uszkodzenia wewnętrznych wykładzin ceramicznych i otuliny zbrojenia. Przez te defekty obniżyła się wytrzymałość podstawowych elementów nośnych konstrukcji zbiorników. Między innymi zniszczone zostały duże powierzchnie przegród wewnętrznych dna, pojawiły się liczne rysy pionowe i poziome. Nastąpiła znaczna karbonatyzacja betono-



Rys. 3. Płyty prefabrykowane ściany silosu po usunięciu odspojonej otuliny i luźnych fragmentów betonu



Rys. 4. Żebra żelbetowe pod przekryciem silosu z ubytkami w otulinie i kawałkiem cegły

wej otuliny zbrojenia oraz korozja stali. Oceniono ilość zniszczonej otuliny na około 12% całej powierzchni baterii silosów. Karbonatyzacja betonu sięga w głąb otuliny do 5 mm przy pomierzonej grubości otuliny od 5 mm do 20 mm. Największe ubytki betonu



Rys. 5. Połączenie płyt prefabrykowanych w obrębie pilastrza, widoczne są duże ubytki betonu w pilastrze (odkryta pozioma blacha) i rozfrakcjonowanie kruszywa w betonie

zaobserwowano w miejscach, gdzie wylewany beton osiągnął klasę niższą od założonej w projekcie. Obok betonu o klasie B20 – B25 znajdują się partie betonu o klasie B10 – B12,5.

Ważnym problemem było określenie nośności poszczególnych elementów konstrukcyjnych baterii silosów prefabrykowanych w zależności od wartości naporów składowanego materiału. Przed 50 laty stosowano do wyznaczania wartości naporu na ściany i dno zbiorników wzór Jansena z roku 1895 roku, który nie uwzględniał szeregu czynników dziś branych w normach pod uwagę [4]. Stąd napór materiału obliczony według [4] jest obecnie ponad dwukrotnie większy od tego sprzed 50 lat. Niemniej jednak, nie zaobserwowano w badanym silosie wyraźnych oznak przekroczenia stanów granicznych nośności i użyteczności, w postaci rys o dużej szerokości rozwarcia i nadmiernych ugięć płyt prefabrykowanych. Jest to w pewnym sensie potwierdzeniem tezy [5], że w silosach żelbetowych ukryte są dość duże rezerwy nośności wynikające z faktu ich przestrzennej pracy i niedokładnej oceny parametrów składowanego materiału. W pracy [5] na podstawie badań i obliczeń wytrzymałościowych wielu istniejących silosów przeprowadzonych przez Zespół Silosowy w Instytucie Budownictwa Politechniki Wrocławskiej oceniono wartość globalnego współczynnika bezpieczeństwa, która była niewiele większa od 1,0; co wskazywałoby że badane silosy znajdują się w stanie awarii budowlanej.

W pracy [5] wykazano, że dla silosów żelbetowych wybudowanych zgodnie ze sztuką inżynierską, w których obciążenia zbliżone są do wartości średnich przy niskiej wartości współczynnika zmienności naporu i jednocześnie przy małym prawdopodobieństwie koincydencji obciążeń działających na ściany silosu, współczynnik bezpieczeństwa może osiągnąć war-

tość 3. Różnice w ocenie wartości bezpieczeństwa zależą od sposobu przepływu materiału przez silos, wartości współczynnika zmienności naporu, mimośrodków opróżniania materiału z silosu, ocenie wartości parametrów samego materiału (jak gęstość objętościowa składowanego materiału, współczynnik tarcia materiału o ścianę, współczynnik tarcia wewnętrznego, współczynnik naporu Koenena itp.). Dlatego też omawiane silosy nie wykazują znaczących symptomów przekroczenia nośności granicznej.

4. Wybór metody naprawy i wzmocnienia silosów żelbetowych

Przed projektantem opracowującym metodę naprawy i wzmocnienia baterii silosów pojawiają się problemy odpowiedniego sposobu uzupełnienia brakującej ilości zbrojenia oraz rekonstrukcji betonowego przekroju. Jest to zadanie trudne, jeżeli temu towarzyszą ograniczenia wynikające z dostępnych technologii i małych środków finansowych na naprawy. W prefabrykowanych silosach żelbetowych możliwe są następujące sposoby zapewnienia bezpiecznej pracy konstrukcji lub jej naprawy:

1. Dalsza, krótkotrwała eksploatacja silosów przy wypełnieniu komór do poziomu 30% wysokości.
2. Naprawa uszkodzonych elementów konstrukcyjnych silosu (rys. 6) polegająca na wymianie skorodowanej stali zbrojeniowej, reprofilacji i uzupełnieniu ubytków w skarbonatyzowanej otulinie zbrojenia. W tym wypadku możliwa jest eksploatacja silosów do poziomu 50% wysokości zasypu komór. Większy poziom zasypu wymagałby wzmocnienia ścian silosu.
3. Wzmocnienie ścian silosów prefabrykowanych poprzez uzupełnienie stali w ścianach i wykonanie dotykowej powłoki żelbetowej powiększającej przekrój poprzeczny elementów ściennych.
4. Położenie wewnątrz silosu na całej jego wysokości dodatkowego płaszcza stalowego.



Rys. 6. Remont baterii prefabrykowanych silosów

5. Wybudowanie nowego płaszcza żelbetowego od strony wewnętrznej.
 6. Odcinkowe sprężenie ścian wzdłuż poziomych żeber.
 7. Wzmocnienie ścian w kierunku poziomym poprzez założenie na wysokości komór silosów opasek stalowych.
 8. Dla materiałów sypkich, zgranulowanych możliwe jest zastosowanie urządzeń odciążających, dostosowanych do rodzaju materiału.
 9. Zmniejszenie wartości obciążeń naporem poprzez wybudowanie wewnątrz komór nowych żelbetowych ścian prostopadłych do siebie, dzielących komory na cztery mniejsze, co w efekcie dałoby kilkukrotne zmniejszenie wartości naporu materiału.
- Wszystkie te rozwiązania były stosowane z sukcesem w różnych modernizowanych bądź remontowanych bateriach silosów. Warianty rozwiązań od 3 do 9 pozwalają na pełną eksploatację komór. Problemem dodatkowym staje się w tym przypadku powiększenie ciężaru konstrukcji i konieczność wzmocnienia rusztu dna baterii, a także słupów je wspierających oraz fundamentów. Ostatecznie zdecydowano się ze względów ekonomicznych na wariant 2 naprawy. Po inwentaryzacji uszkodzeń usunięto mechanicznie odspojoną otulinę i rdzę ze stali zbrojeniowej. Uzupełniono brakujące odcinki zbrojenia łącząc nowe poprzez spawanie ze zbrojeniem istniejącym. Tak przygotowaną powierzchnię pokryto warstwą szcpezną i na nią ręcz-

nie nałożono właściwą warstwę betonową. Całość pokryto farbami elewacyjnymi. W omawianym wariantcie właściciel baterii zgodził się na ograniczenie zasypania komór silosów do połowy ich wysokości.

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 „Awary 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 „Awary 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] BS EN 1991-4:2006 BS EN Oddziaływania na konstrukcje – Część 4: Silosy i zbiorniki
- [5] Kaminski 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 konstrukcyjna obiektów budowlanych. „Przegląd Budowlany” 3/2006, s. 16–18
- [7] Niedostatki M., Tejchman 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., Emmons P. H. Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych. „Polski Cement” 2002, s. 47

Wybrane problemy projektowe i wykonawcze prefabrykowanych zbiorników cylindrycznych sprężonych zewnętrznymi ciągniami bez przyczepności

Prof. dr hab. inż. Mieczysław Kamiński, dr inż. Czesław Bywalski,
Politechnika Wroclawska

1. Wprowadzenie

Żelbetowe i sprężone zbiorniki na ciecze muszą spełniać określone kryteria szczelności oraz odpowiednie warunki konstrukcyjno-wytrzymałościowe w fazie realizacji i eksploatacji [1]. Różnorodne kryteria i warunki ich projektowania i realizacji podawane są m.in. w normach [2, 3, 4] i wytycznych [5]. Spełnienie stosownych

warunków decyduje o trwałości zbiornika i o opłacalności inwestycji. Jak słusznie zauważył Seruga w pracy [1], na etapie projektowania wykonawstwa oraz eksploatacji zbiorników popełniane są liczne błędy. Ich skutkiem może być konieczność naprawy lub wzmocnienia konstrukcji już w fazie realizacji. Innym skutkiem takich błędów może być awaria budowlana, która może mieć miejsce pod-

czas sprężania prefabrykowanych zbiorników zewnętrznymi ciągniami bez przyczepności. Do ewentualnej awarii może doprowadzić np. źle dobrana kolejność sprężania, niewłaściwe poziomy siły sprężającej w poszczególnych etapach sprężania, odchyłki montażowe i wykonawcze prefabrykatów lub brak właściwego podparcia prefabrykatów w procesie sprężania. Zadaniem projektanta