

dr hab. Eur. Inż. Tomasz Błaszczyński, prof. nadzw. PP<sup>1)\*</sup>  
 dr inż. Michał Babiak<sup>1)</sup>  
 dr inż. Przemysław Wielentejczyk<sup>1)</sup>

# Naprawa zniszczeń wywołanych pożarem żelbetowego silosu na biomasę

*The repair of destructions caused by the fire of reinforced concrete silo for the biomass*

DOI: 10.15199/33.2015.09.20

(Studium przypadku)

**Streszczenie.** Artykuł przedstawia awarię żelbetowego silosu na biomasę znajdującego się na terenie zakładu produkującego płyty wiórowe. W wyniku pożaru trocin konstrukcja silosu uległa uszkodzeniu. W związku z tym jej stan techniczny wymagał gruntownej naprawy. Wizja lokalna ujawniła osłabienie elementów konstrukcyjnych, ich pęknięcia oraz zniszczone fragmenty otuliny. Autorzy opracowania poddali ocenie bezpieczeństwo konstrukcji oraz zaproponowali sposób naprawy silosu.

**Słowa kluczowe:** silos, beton, naprawa, pożar.

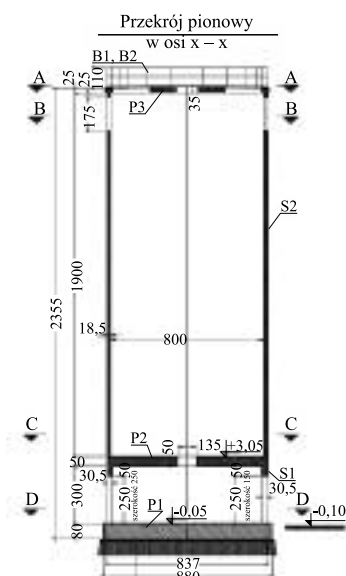
**Abstract.** The article shows failure of reinforced concrete biomass containing silo located in a chipboard factory. The damage of silo is a result of sawdust fire. Therefore, the silo structures need extensive repairs. Inspection revealed a weakening of the structural elements, their cracks and damaged coatings. The authors have evaluated the stability of structure and proposed the best repair method of silo.

**Keywords:** silo, reinforced concrete, repair, fire.

W ostatnich latach coraz częściej dochodzi do wybuchu pyłów (np. z trocin) i związanego z tym pożaru, którego następstwem są poważne awarie, kończące się niezbędną naprawą i wzmocnieniem konstrukcji lub nawet rozbiórką obiektu. Przeprowadzenie naprawy danego obiektu lub konstrukcji wymaga zróżnicowanego podejścia w zależności od rodzaju obiektu, jego wielkości i funkcji. Ponadto postępowanie naprawcze związane jest z oddziaływaniem środowiska i przyjętym rozwiązaniem konstrukcyjnym. W przypadku większych silosów magazynowych najczęściej stosowanym materiałem konstrukcyjnym jest beton, który jest wyrobem prostej technologii i złożonej wiedzy. Wiedza ta zaczyna być dopiero opanowywana, dlatego też trafne są prognozy, że wiek XXI może być dla budownictwa w dużej mierze wiekiem napraw. Mamy z nimi do czynienia zarówno w budownictwie ogólnym, jak i przemysłowym, w którym występuje znacznie większa liczba obiektów ulegających uszkodzeniu. Sytuacja taka miała m.in. miejsce w przypadku żelbetowego silosu na trociny drewniane (biomasę), znajdującego się na terenie zakładu firmy STEICO Sp. z o.o. w miejscowości Bellac k. Casteljaloux we Francji.

Silos został zaprojektowany w 2009 r. jako okrągły, monolityczny, żelbetowy. Ma 22,0 m wysokości i średnicę zewnętrzną 8,37 m (rysunek). Składa się z dwóch oddzielnych

<sup>1)</sup> Politechnika Poznańska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska  
<sup>\*)</sup> Autor do korespondencji:  
 e-mail: tomasz.blaszczyński@put.poznan.pl



**Przekrój pionowy przez silos [2]**  
 Cross-section of the silo [2]

komór, tj. dolnej (technicznej o objętości 141,5 m<sup>3</sup>) oraz górnej (składowej o objętości 955,0 m<sup>3</sup>). Posadowiony został na żelbetowej, kołowej płycie fundamentowej średnicy 8,8 m i grubości 80,0 cm, która stanowiła oczep dla szesnastu pali żelbetowych. Dolną komorę techniczną tworzyła żelbetowa ściana wykonana w postaci pierścienia grubości 30,5 cm i wysokości 3,0 m. Przegrodę pomiędzy dolną a górną komorą stanowiła żelbetowa płyta kolista grubości 50,0 cm, z otworem technologicznym. Połączenie płyty ze ścianą zaprojektowano jako ciągłe monolityczne. Górną komorę magazyno-

wą wydzielała żelbetowa ściana wykonana również w postaci pierścienia o grubości ściany 18,5 cm i wysokości 19,0 m. Przykrycie górnej komory stanowiła żelbetowa kolista płyta o grubości 25,0 – 35,0 cm, swobodnie oparta na ścianach komory magazynowej.

Silos wyposażony był w stalowe pionowe i poziome kłapy odciążające oraz stalowe drzwi i okna rewizyjne. Jego obsługę techniczną realizowano za pomocą zewnętrznych stalowych drabin i pomostów technicznych.

## Ocena stanu technicznego konstrukcji silosu

Konstrukcja silosu uległa uszkodzeniu w wyniku pożaru pyłu i trocin (biomasy) wypełniających zbiornik. Na szczęście w tym przypadku nie doszło do wcześniejszego wybuchu. Brak było informacji dotyczących czasu trwania pożaru i wartości temperatury panującej w silosie. Wiadomo jednak, że w przypadku pyłu drzewnego temperatura zapłonu to ok. 490 °C. Zakres oddziaływania ognia określono, badając spadek wytrzymałości betonu na ściskanie. Stan konstrukcji silosu oceniono jako dostateczny. Zewnętrzne oględziny zbiornika wykazały liczne spękania betonu na powierzchni ścian komory górnej, przede wszystkim powyżej wysokości 15 m (fotografia 1).

Górna płyta stropowa nie uległa zerwaniu, jednakże stwierdzono jej spękanie (fotografia 2), a także miejscami zaawansowaną korozję stalowych elementów wypo-



Fot. 1. Zarysowania betonu od zewnątrz silosu [2]

Photo 1. Concrete cracks from outside the silo [2]



Fot. 2. Zarysowania i spękania betonu górnej płyty silosu oraz brak obróbek blacharskich [2]

Photo 2. Cracks and fractures of concrete from upper plates of the silo and the lack of sheet-metal processings [2]

sażenia technicznego silosu. W wyniku pożaru nadawała się jedynie do rozbiórki.

W obszarze naroży otworów odciążających odnotowano ukośne rysy przebiegające pod kątem 45° (fotografia 3). Ich lokalizacja oraz kierunek wskazują na niewłaściwe rozmieszczenie zbrojenia konstrukcyjnego. Prawdopodobnie nie zamocowano ukośnych prętów, które powinny dozbrajać otwory w strefach koncentracji naprężeń. Potwierdziła to analiza otrzymanego projektu wykonawczego.

Oględziny wnętrza silosu wykazały ślady sadzy i zadymienia oraz liczne złączenia i odspojenia otuliny prętów, a także odsłonięte pręty zbrojeniowe. Z analizy morfologii zniszczeń wynika, że w betonie doszło do zjawiska „spallingu”, w wyniku eksplozyjnego zachowania się betonu po gwałtownym ogrzaniu (powyżej 350 °C), co objawia się odpajaniem fragmentów betonu oraz jego intensywnym złączaniem. Od-



Fot. 3. Rysy ukośne naroży otworów na zewnętrznej stronie ścian silosu [2]

Photo 3. Diagonal cracks of opening-corners at the external side of the silo walls [2]

slonięcie zbrojenia i uplastycznienie prętów powoduje utratę nośności elementu żelbetowego. Założono, że silos pierwotnie został wykonany z betonu B30 (zgodnie z projektem wykonawczym), który może wykazywać dużą skłonność do eksplozyjnego zachowania. Tłumaczy to odnotowana kruchość betonu oraz znaczna powierzchnia złączzonej otuliny (fotografie 4 – 5).



Fot. 4. Widok uszkodzonej otuliny zbrojenia we wnętrzu silosu [2]

Photo 4. The view of damaged concrete coating of the reinforcement in the interior of the silo [2]



Fot. 5. Widok sadzy i złuszczonego betonu we wnętrzu silosu [2]

Photo 5. The view of the soot and peeled concrete in the interior of the silo [2]

### Propozycja naprawy

W przypadku uszkodzonych konstrukcji cylindrycznych stosuje się różne metody naprawy. Jedne z ciekawszych przedstawiono w pracach [3, 4]. Naprawa konstrukcji analizowanego silosu polegała na dodaniu nowego zbrojenia konstrukcyjnego oraz naniesieniu betonu metodą natryskową (torkretowanie). Zwrócono uwagę na konieczność prawidłowego zamocowania siatek zbrojeniowych, dozbrojenia naroży wszystkich otworów (drzwiowych, rewizyjnych i odciążających), przez dodanie prętów ukośnych  $\phi 10$  oraz prętów pionowych i poziomych w rozstawie 5 cm (po dwie sztuki w każdym narożniku – od strony zewnętrznej i wewnętrznej) z zachowaniem długości zakotwienia (min. 40 $\phi$ ). Projekt naprawy zakładał konieczność wykonania chemicznej warstwy szczernej. Określono parametry mieszanki betonowej służącej do naprawy. Zastosowany materiał (torkret) odpowiadał klasie betonu min.

C25/30 i był zmodyfikowany aktywną  $\text{SiO}_2$  oraz zawierał migrujące aktywne inhibitory korozji typu MCI. Zalecono, żeby wewnątrz silosu pokryć mieszanką torkretu ognioodpornego, w którego składzie stosuje się składniki żaroodporne (w postaci wypełniaczy ogniotrwałych) o odpowiednim uziarnieniu lub mieszanką niskocementową stanowiącą nową generację mieszanek ogniotrwałych. Zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 206 naprawiona konstrukcja miała spełniać wymagania klasy ekspozycji XA3. Określono także sposób montażu brakujących obróbek blacharskich chroniących zbiornik przed wodami opadowymi.

### Podsumowanie i wnioski

Konstrukcja silosu w wyniku pożaru trocin (biomasy) była w bardzo złym stanie technicznym. Wysoka temperatura panująca w zbiorniku doprowadziła do stanu przedawaryjnego konstrukcji. Pod wpływem pożaru wystąpiło zjawisko „spallingu”, czyli eksplozyjnego zachowania betonu po gwałtownym ogrzaniu do temperatury powyżej 350 °C [5]. Doprowadziło ono do intensywnego złączenia i odspojenia fragmentów betonu. W efekcie nastąpiło odsłonięcie zbrojenia, powodujące utratę nośności elementów żelbetowych. Dodatkowo brak odpowiedniego zbrojenia pionowego ( $\phi 8$  co 30 cm) spowodował powstanie rozległych rys poziomych w strefie oddziaływania wysokiej temperatury.

Zwracamy uwagę, że zniszczenie zbiornika mogłoby być znacznie mniejsze, gdyby zastosowano pionowe pręty rozdzielcze w odpowiedniej liczbie na oddziaływanie temperatury wewnętrznej od pożaru. Postuluje się, aby taki przypadek obciążenia był rozpatrywany jako obciążenie wyjątkowe.

### Literatura

- [1] Projekt wykonawczy żelbetowy silos na biomasę z osprzętem stalowym, Jednostka projektowania: Przedsiębiorstwo „KRIZAR” ul. Hebnowa 32, 55-080 Smolec.
- [2] Silo à sciure en béton armé sur le site de CASTELJALOUX, Diagnostic structurel suite a un incendie, Ginger CEBTP Domaine de Pelus 19 Avenue Pythagore 33700 Merignac.
- [3] Kamiński M., Trapko T., Bywalski Cz., Stan techniczny i naprawa żelbetowego zbiornika wieżowego na wodę, ed. M. Kamiński, J. Jaszcak, W. Buczkowski, T. Błaszczczyński, DWE, Wrocław, 2007, s. 220 – 229.
- [4] Noakowski P., Wzmacnianie budowli wieżowych, ed. M. Kamiński, J. Jaszcak, W. Buczkowski, T. Błaszczczyński, DWE, Wrocław, 2007, s. 253 – 265.
- [5] Runkiewicz L.: Wzmacnianie konstrukcji żelbetowych. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, 2011.

Przyjęto do druku: 18.08.2015 r.