

dr inż. Marek Maj¹⁾dr hab. inż. Andrzej Ubysz, prof. PWr.^{1)*}

Wzmacnianie zarysowanych kominów żelbetowych użytkowanych w agresywnym środowisku chemicznym

The issues of strengthening reinforced concrete chimneys used in chemically aggressive environments

DOI: 10.15199/33.2015.06.36

(Artykuł przeglądowy)

Streszczenie. W artykule przedstawiono przyczyny i skutki powstawania rys na całej powierzchni kominów żelbetowych eksploatowanych w agresywnym środowisku chemicznym. Podano sposoby odtworzenia pierwotnego poziomu niezawodności kominów i przedstawiono niektóre rodzaje prac remontowych.

Słowa kluczowe: komin, trwałość, wzmacnienie.

Abstract. Causes of cracks appeared on surface of chimney operated in the aggressive chemical environment in this article are presented. Additionally ways of rescue of the designed durability and some kinds of repair works are presented in this paper.

Keywords: chimney, durability, strengthening.

Poziom bezpiecznego użytkowania kominów obniża się wraz z czasem ich eksploatacji (fotografia 1). Równanie niezawodnościowe (1) dotyczące SGN i SGU konstrukcji kominów żelbetowych podane w [1] ma postać:

$$A_c \leq R_c \quad (1)$$

gdzie:

A_c – oddziaływania na komin (np. wiatr, temperatura, wymuszone odkształcenia itp.);
 R_c – odporność konstrukcji (np. wytrzymałość, sztywność, stateczność itp.).

Wzmacnienie konstrukcji żelbetowych kominów może być wykonane przez zmniejszenie wartości lewej strony albo



Fot. 1 Naprawiana powierzchnia kominu żelbetowego [2]

Photo 1. Repaired surface of reinforced concrete chimney [2]

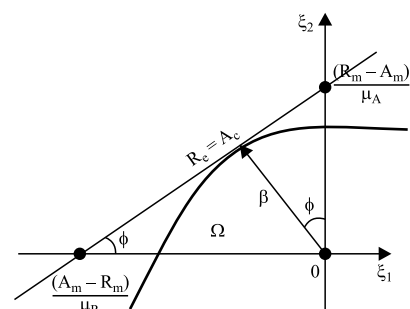
¹⁾ Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

^{*}) Autor do korespondencji:

e-mail: andrzej.ubysz@pwr.edu.pl

przez zwiększenie wartości prawej strony równania (1). Interpretacja graficzna zależności (1) została pokazana na rysunku, na którym obszar Ω pod krzywą ($R_c - A_c \geq 0$) jest obszarem niezawodnej eksploatacji kominu. A_m i R_m to wartości średnie odpowiednio oddziaływań i odporności, μ_A i μ_R to wartości odchyłeń standardowych oddziaływań i odporności, a β – współczynnik niezawodności (często rozdzielany na częściowe współczynniki niezawodności, odporności β_R i obciążeń β_A).

Współczynnik β opisuje prawdopodobieństwo niezawodności funkcji $P_B = P(\Delta)$, gdzie $\Delta = R_c - A_c \geq 0$. Jest wyrażony funkcją odwrotną do $P_B \beta_B = \Phi^{-1}(P_B) = -\Phi^{-1}(P_F)$, gdzie funkcja $P_F = 1 - P_B = \int_F f_{X_i}(x) dx$ jest prawdopodobieństwem awarii konstrukcji, a obszar F obszarem awarii (poza obszarem Ω). Zmienne X_i to parametry składające się na oddziaływania i odporność konstrukcji, tworzące wielowymiarową przestrzeń funkcji niezawodności. Współczynnik niezawodności β jest interpretowany jako minimalny odstęp pomiędzy centralnym punktem 0 a powierzchnią stanu granicznego nośności (rysunek). Rozwiązanie zagadnienia Metodami I i III Poziomu (FORM i SORM) prowadzą do określenia częściowych współczynników obciążenia i materiałowych γ_m i γ_f oraz niezawodności β , β_A , β_R . Oznacza to, że często mogą być prowadzone jednocześnie prace nad wzmacnianiem kominów i prace mające na celu zmniejszenie obciążeń. Oba te działania zwiększają obszar niezawodności Ω i współczynnik β .



Obszar Ω bezpiecznego użytkowania konstrukcji [1]

Area Ω as safety state of construction [1]

Przyczyny obniżenia poziomu bezpiecznego użytkowania kominów

Głównymi przyczynami obniżenia poziomu bezpiecznego użytkowania kominów żelbetowych jest wzrost obciążeń oraz obniżenie odporności korozyjnej płaszcza kominu, której najczęstszym objawem jest jego zarysowanie. Powstanie rys w ścianie żelbetowego kominu jest efektem niewłaściwego projektowania i wznoszenia, a także eksploatacji. W fazie projektowej przyczynami zarysowania są niedoszacowanie obciążeń termicznych oraz pominięcie znaczącego wpływu skurczu i reologicznego charakteru parametrów wytrzymałościowych betonu.

Zarysowanie kominu w fazie wznoszenia jest spowodowane:

- szybkim przystrojem skurczu wyprzedzającym przystrojem wytrzymałości betonu (szczególnie na granicy przerw technologicznych);

- nieodpowiednim wibrowaniem betonu (np. narusza się przyczepność stali zbrojeniowej do betonu i powoduje segregację betonu);

- nieodpowiednią technologią budowy;
- zmianą rozmieszczenia zbrojenia pionowego i poziomego w przekroju (zmniejszenie nośności przekroju);

- zmianą grubości otuliny;
- brakiem odpowiedniej pielęgnacji betonu;
- zbyt długą przerwą między kolejnymi etapami betonowania;

- niedostatecznym kształtowaniem przerwy technologicznych;

- odrywaniem deskowania podczas cyklu technologicznego (powodującym ubytki powierzchniowe betonu).

W fazie eksploatacji pojawiają się takie czynniki destrukcyjne, jak: nieodpowiedni pierwszy rozruch kominia; obniżenie izolacyjności termicznej ścian [3]; wzrost korozji i pojawiające się procesy zmęczeniowe betonu i stali zbrojeniowej; zwiększenie obciążeń kominia (np. przez dodatkowe instalowanie anten telekomunikacyjnych); wzmożona aktywność chemiczna środowiska; brak bieżącej konserwacji i napraw po okresowych badaniach stanu technicznego kominia.

Przywracanie pierwotnego poziomu niezawodności kominia

Przywracanie pierwotnego poziomu niezawodności kominia żelbetowego może polegać na zmniejszeniu obciążeń (o ile jest to możliwe) lub zwiększeniu odporności konstrukcji kominia przez jego wzmocnienie.

W celu bezpiecznego użytkowania kominów zaleca się stałą kontrolę obciążeń, takich jak temperatura płaszcza kominia wynikająca z temperatury spalin i reżimu technologicznego pracy kominia oraz z aktualnego stanu izolacji termicznej ścian kominia. W celu obniżenia obciążeń od parcia wiatru stosuje się urządzenie obniżające parcie wiatru, usuwa zbędne elementy ze ścian kominia, kształtuje jego gładką powierzchnię zmniejszającą współczynnik parcia wiatru (np. przez wygładzanie powierzchni). Uznana metodą zmniejszenia obciążeń od wiatru jest obniżenie wysokości kominia przy jednoczesnym zastosowaniu zwęzek gwarantujących projektowaną jego wydajność.

W celu zwiększenia odporności konstrukcji kominia na oddziaływania zewnętrzne (np. wiatr, słońce, woda, śnieg, zamarzanie i odmarzanie) i wewnętrzne (spaliny, temperatura, agresja chemiczna) należy podjąć wieloetapowe działania. W pierwszej kolejności przeprowadza się szczegółowy prze-

gląd stanu technicznego konstrukcji (od zewnątrz i wewnątrz) i określa aktualne charakterystyczne i obliczeniowe cechy wytrzymałościowe betonu i stali oraz zakres korozji tych materiałów.

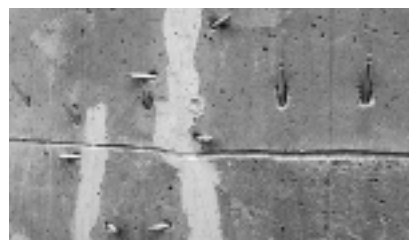
W celu zwiększenia odporności chemicznej otuliny wykonuje się reprofilację powierzchni ściany przez uzupełnienie ubytków i wymianę skorodowanej otuliny. W przypadku lokalnego braku zbrojenia zaleca się dodanie stali zbrojeniowej na większych obszarach ścian i torkretowanie, które zwiększa jednak średnicę kominia i zmienia kształt jego powierzchni zewnętrznej, powodując wzrost parcia wiatru. W efekcie zwiększa się też ciężar kominia i naprężenia na grunt.

Inną metodą uzupełnienia zbrojenia i ograniczenia szerokości rozwarcia rys jest stosowanie wstępnie napiętych obręczy stalowych (fotografia 2). Nadmierne zarysowanie kominia usuwa się natomiast, stosując iniekcję rys (fotografia 3). W przypadku rys dużej szerokości, wskazujących na lokalne odkształcenia plastyczne stali, dodatkowo nakleja się taśmy lub maty z włókna mineralnego, np. CFRP (fotografia 4). Naprawa uszkodzonej izolacji termicznej (np. wskutek jej zawilgocenia lub osiadczenia) jest z reguły utrudniona ze względu na brak możliwości wyłączenia kominia z eksploatacji. W takim przypadku można wykonać odwierty umożliwiające wentylację grawitacyjną lub wymuszoną i po osuszeniu zastosować iniekcję z pianki termoizolacyjnej. Mniejsze prace remontowe wykonuje się



Fot. 2. Wzmocnienie kominia obręczami stalowymi

Photo 2. Strengthening the chimney with the help of the steel bands



Fot. 3. Typowe rozmieszczenie pakerek iniekcyjnych w ścianie kominia

Photo 3. The typical distribution of injection packers in the wall of the chimney



Fot. 4. Wzmocnienie kominia za pomocą mat mineralnych CFRP

Photo 4. Strengthening the chimney using mineral matt CFRP

z galerii stalowych kominia oraz z „rusztowań wiszących”. W przypadku dużego zakresu robót naprawczych stanowiska robocze stanowią deskowania wybudowane na części lub na całej wysokości kominia. Wówczas zwiększa się parcie wiatru na komin i większe są koszty prac remontowych.

Wnioski

Zwiększenie trwałości nadmierne zarysowanych kominów żelbetowych użytkowanych w agresywnym środowisku chemicznym uzyskuje się przez iniekcję rys i pęknięć ścian oraz odtworzenie otuliny zbrojenia kominia. Podczas prac naprawczych bardzo ważne jest odtworzenie projektowanej izolacyjności termicznej kominia, gdyż zmniejszenie jej implikuje wzrost obciążeń termicznych i wzrost zawilgocenia. Zawsze należy brać pod uwagę asortyment materiałów używanych do rekonstrukcji otuliny i wzmocnienia ścian kominów żelbetowych, pracujących w niekorzystnych warunkach atmosferycznych i chemicznych.

Literatura

Fotografie – Autorzy

[1] Kaminski M., Maj M.: The computational estimating of safety load factors and silo wall strength according to experimental and theoretical loads of pressure of bulk materials, SEMC 2010: The Fourth International Conference on Structural Engineering, 6 – 8.09.2010 r., Cape Town, South Africa.

[2] Kaminski M., Maj M., Ubysz A.: Chimney cracked reinforced concrete walls as a problem of durability exploitation, SEMC 2013: The Fifth International Conference on Structural Engineering, 2-4.09.2013 r., Cape Town, South Africa.

[3] Maj M., Ubysz A.: Some methods of repairing of chimney cracked reinforced concrete wall. TISNOB Poznań 2014. *Otrzymano 30.04.2015 r.*