

mgr inż. Tomasz Kasprzak*
 prof. dr hab. inż. Piotr Konderla*
 dr hab. inż. Ryszard Kutylowski*
 dr inż. Grzegorz Waśniewski*

Analiza stanu technicznego komina przemysłowego o znacznym stopniu degradacji

The analysis of the technical conditions of degraded industrial chimney

Streszczenie. Praca dotyczy oceny stanu technicznego komina zlokalizowanego na terenie elektrociepłowni. Jego ponad 40-letnia eksploatacja (w tym odprowadzanie spalin z IOS) doprowadziła do bardzo złego stanu technicznego. W pracy przedstawiono kompleksowe badania, jakim w takiej sytuacji powinien być poddany komin oraz przeprowadzono odpowiednie analizy dotyczące możliwości dalszej jego eksploatacji. Przedstawiono koncepcję remontu.

Słowa kluczowe: stan techniczny komina żelbetowego, analizy statyczno-wytrzymałościowe komina, modernizacja komina.

Abstract. The paper deals with the estimation of the technical conditions of the thermal-electric power station chimney. Proper – to its 40 years routine operation – range and methods of the chimney investigations were applied. The analysis of the chimney was carried out concerning the possibilities of its future exploitation. The repair conception was presented.

Keywords: reinforced concrete chimney technical conditions, static-straight chimney analysis, chimney modernization.

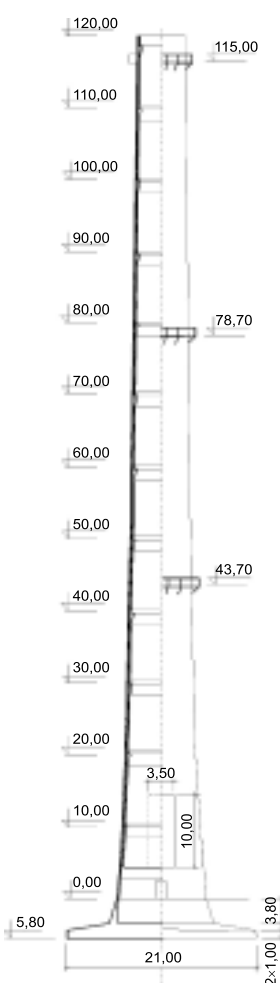
Przedstawione rozważania dotyczą żelbetowego komina wysokości 120 m i zawierają:

- ocenę stanu technicznego komina;
- ocenę bezpieczeństwa konstrukcji oraz możliwości dalszej jej eksploatacji;
- propozycje sposobów wykonania remontu komina bądź jego przebudowy w przypadku stwierdzenia takiej konieczności;
- analizę statyczno-wytrzymałościową i technologiczną koncepcji przebudowy komina zapewniającą pełne odtworzenie sprawności technicznej konstrukcji wraz z przystosowaniem jej do nowych warunków pracy.

Komin żelbetowy zaprojektowano w 1965 r. Podstawowe dane techniczne komina: wysokość 120 m; poziom posadowienia: -5,80 m. Trzon komina jest konstrukcją żelbetową zbrojoną jednostronnie po stronie zewnętrznej płaszczą i jest zbieżny na całej wysokości (rysunek).

Średnica trzonu komina na poziomie terenu wynosi 10,28 m, a na poziomie +120 m – 6,28 m. Grubość ściany trzonu komina do wysokości +20 m równa się 30 cm, następnie zmniejsza się i od poziomu +60 m wynosi 15 cm.

Fundament komina stanowi żelbetowa kołowa płyta fundamentowa o przekroju trapezowym, grubości 2,0 m w środku i średnicy 21 m. Podłoże gruntowe jest wielowarstwowe: gliny pylaste twardoplastyczne; gliny piaszczyste i piaski o różnej granulacji. Do budowy części nadziemnej komina zastosowano beton $R_w = 200$ at., a części podziemnej $R_w = 170$ at. oraz stal zbrojeniową $Q_r = 2500$ at. i $Q_r = 4000$ at.



Konstrukcja komina

Ocena stanu technicznego komina

Podstawę oceny stanu technicznego komina stanowiły badania przeprowadzone na obiekcie oraz wykonane szczegółowe analizy i obliczenia. Pomocniczymi materiałami były: dostępna dokumentacja obiektu oraz wyniki ekspertyz technicznych komina przeprowadzonych w trakcie jego eksploatacji; normy z okresu budowy, a także obecne (PN-88/B-03004, PN-EN 12390-3, PN-EN 1991-1-1:2002 Eurokod 1, PN-EN 1991-1-4:2005 Eurokod 1, PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2).

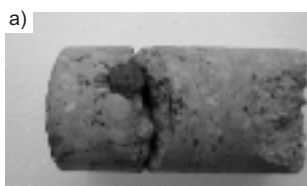
Ogłędziny zewnętrzne komina wykazały, że na powierzchni trzonu występują znaczne obszary powierzchniowej degradacji betonu. Stwierdzono występowanie wielu spękań i ubytków betonu, wskazujących na brak bieżącej konserwacji. Niemal cała powierzchnia trzonu komina powyżej galerii pośredniej jest całkowicie zdegradowana. Na dużych obszarach trzonu komina występowały odsponienia otuliny zbrojenia, rozwarstwienia wewnętrznej struktury trzonu, głęboka degradacja zewnętrznej warstwy betonu oraz jego ubytki (fotografia 1), co powodowało zagrożenie korozyjne oraz zmniejszenie faktycznego przekroju betonowego, który odpowiadał za rzeczywistą nośność konstrukcji.

Badania próbek betonu. Zleceniodawca zgodził się na pobranie do badań tylko 15 próbek betonu, przy czym do badań wytrzymałościowych nadawało się tylko 7 próbek (pozostałe były przynajmniej w dwóch częściach). Na podstawie wykonanych badań trudno było rzetelnie oszacować klasę betonu. Na fotografii 2 przedstawiono przykładowe próbki (pobrane ze strony zachodniej na wysokości 15 m i ze strony południowej na wysokości 41 m). W dolnej części, do poziomu ok.

* Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego



Fot. 1. Przykładowe uszkodzenia



Fot. 2. Próbki rdzeniowe: a) próbka 15W; b) próbka 41S

+20 m, beton uległ karbonatyzacji na dopuszczalną głębokość. Na poziomie 41 m i na wyższych poziomach stwierdzono skarbonatyzowanie betonu na całej grubości płaszcza. Badania chemiczne wykazały, że stężenie agresywnych skażeń chemicznych w zewnętrznej i wewnętrznej warstwie badanego betonu, na całej wysokości kominu, przekracza niekiedy nawet kilkakrotnie dopuszczalne wartości. W każdym przypadku próbki ze zbrojeniem stwierdzono głęboką korozję stali.



Badania geodezyjne, fotogrametryczne, termowizyjne oraz geotechniczne

Badania geodezyjne obejmowały pomiary wychylenia osi geometrycznej kominu oraz pomiary geodezyjne i fotogrametryczne kształtu geometrycznego powierzchni kominu. Stwierdzono, że pomierzone wychylenia górnego przekroju kominu były porównywalne z wychyleniami mierzonymi od 1994 r., a komin zachował kołowy kształt przekroju poprzecznego. **Badania termowizyjne** obejmowały pomiary kamerą termowizyjną wraz z wizualizacją zarejestrowanych obrazów termalnych. Rozkłady temperatury wskazywały, że izolacja na dużych obszarach trzonu kominu była nieskuteczna. Świadczyło to o braku lub znacznej degradacji wymurówki i izolacji na dużych obszarach. Podczas **badania geotechnicznych** wykonano wiercenia dwóch otworów badawczych, pobierając próbki gruntu do dalszych badań oraz wykonano dwa sondowania sondą statyczną CPT. Wyniki badań terenowych potwierdziły prostą budowę geologiczną gruntu. Wyznaczone parametry geotechniczne podłoża gruntowego wskazują, że stanowi ono dobre podłoże do posadowienia kominu. Głębokość posadowienia oraz dobór wymiarów stopy fundamentowej są prawidłowe i zapewniają bezpieczne przekazywanie obciążenia na grunt.

Analizy statyczno-wytrzymałościowe trzonu kominu. Wykonano szczegółową analizę trzonu kominu. Celem było sprawdzenie warunków granicznej nośności i granicznej użyteczności z wykorzystaniem aktualnych norm obciążenia i wymiarowania konstrukcji. Stwierdzono, że normowe warunki stanu granicznego nośności trzonu kominu są spełnione w przypadku betonu klasy C16/20 (określonej w badaniach będących w dyspozycji próbek), przy czym ze względu na zły stan betonu obliczenia te dają jedynie pogląd o stopniu wytrzymałości materiału konstrukcyjnego, gdyby był on w stanie dobrym. Wtedy maksymalny współczynnik wytrzymałości przekroju w_{max} , wyznaczony jako iloraz obliczeniowej siły osiowej do siły dopuszczalnej, byłby równy: $w_{max} = N/N_{Rd} = 0,514 < 1,0$. Szerokość rozwarcia rys w stanie granicznej użyteczności

trzonu kominu była mniejsza od wartości dopuszczalnej: $w_{k,max} = 0,27 \text{ mm} < w_{k,dop} = 0,30 \text{ mm}$.

Analiza nośności fundamentu i płyty fundamentowej. Stwierdzono, że warunki dopuszczalnego mimośrodoru oraz granicznej nośności w przypadku fundamentu są spełnione z dużym zapasem: $e_{max}/e_{dop} = 0,38 < 1,0$, oraz $N_r^{max}/m \cdot \min\{Q_{fNBx}, Q_{fNBz}\} = 0,14 < 1,0$. Dużą nośność fundamentu uzyskano dzięki wymianie gruntu bezpośrednio pod fundamentem – gliny piaszczyste zostały zastąpione warstwą grubości 1,00 m piasku średniego stabilizowanego cementem. Jeśli chodzi o stopę fundamentową, to zgodnie z obowiązującymi normami powinna ona spełnić odpowiednie warunki na przebiecie: $V_{Sd,max} = 6670 \text{ kN} < V_{Rd} = 17038 \text{ kN}$ i na zginanie: sprawdzenie, czy ilość wbudowanego zbrojenia w stopę fundamentową jest wystarczająca. Analizowano stopę fundamentową jako płytę kołową podpartą przegubowo na linii trzonu kominu i obciążoną odporem gruntu. Powierzchnię zbrojenia wbudowanego określono na podstawie projektu budowlanego kominu. Na całej powierzchni płyty fundamentowej nośność z uwagi na zginanie jest wystarczająca do przeniesienia występujących w płycie momentów zginających.

Podsumowanie wyników badań

Stwierdzono, że komin jest w bardzo złym stanie technicznym. Na podstawie badań pobranych próbek rdzeniowych można określić stan ten jako krytyczny. Z uwagi na wysoki poziom degradacji betonu i jego rozwarstwienie, karbonatyzację i wysoki poziom zanieczyszczeń chemicznych nie stanowi on ochrony dla stali zbrojeniowej. Zakres obserwowanych uszkodzeń zwiększa się na wyższych poziomach trzonu kominu. Niezadowolający stan techniczny kominu był już sygnalizowany w 1994 r., kiedy wykonywano jego ekspertyzę. Podnoszono w niej problem słabego związania otuliny zbrojenia z trzonem oraz występowania dużych obszarów odsłoniętego i skorodowanego zbrojenia, a także degradacji powierzchniowej betonu. Przeprowadzony później remont miał zbyt mały zakres, aby wyeliminować istniejące wówczas uszkodzenia oraz powstrzymać dalszą degradację. **Po uwzględnieniu wymienionych zastrzeżeń jednoznacznie stwierdzono, że komin nie nadaje się do dalszej eksploatacji.** Bezzasadne było naprawianie go tradycyjnymi metodami przez skucie zdegradowanego betonu, uzupełnienie zbrojenia i torkretowanie. Naprawy takie byłyby bowiem całkowicie nieskuteczne ze względu na pełną karbonatyzację na przekroju trzonu oraz poziom zanieczyszczenia chemicznego. Ponadto komin nie spełnia podstawowych parametrów, jakie muszą mieć kominy żelbetowe w świetle współczesnych norm, a mianowicie: minimalna grubość trzonu to co najmniej 20 cm i trzon powinien być zbrojony obustronnie. Krytyczny stan techniczny kominu wymagał podjęcia niezwłocznych i zdecydowanych działań. Należało rozważyć dwie racjonalne możliwości: wyburzenie kominu i postawienie nowego (co ze względów ekonomicznych nie jest możliwe) lub przebudowę i modernizację kominu.

Koncepcja przebudowy kominu

Przewiduje się wzmocnienie konstrukcji polegające na wykonaniu dodatkowego zewnętrznego płaszcza żelbetowego grubości 20 cm na odcinku od poziomu 16,0 m do poziomu 118,7 m. Na dolnym odcinku przewiduje się układ żeber pionowych i poziomych. Konieczne będzie także wykonanie otworu roboczego o wymiarach 3,50 x 5,90 m w trzonie kominu na poziomie