

Stan techniczny dwóch żelbetowych kominów o wysokości około 300 m



prof. dr hab. inż.
ŁUKASZ DROBIEC
Politechnika Śląska
Wydział Budownictwa
ORCID: 0000-0001-9825-6343

Artykuł dotyczy stanu technicznego dwóch najwyższych kominów w Polsce, zlokalizowanych w Jaworznie oraz w Warszawie. Oba kominy mają konstrukcję żelbetową.

Wprowadzenie

Najwyższe konstrukcje żelbetowe w Polsce to wolnostojące kominy. Większość z nich znajduje się w elektrowniach ciepłych opalanych węglem kamiennym lub brunatnym, które wciąż stanowią główne źródło energii elektrycznej kraju. Najwyższe kominy mają wysokość około 300 m i w kraju znajduje się pięć takich konstrukcji [1]. Stan techniczny obiektów wysokich powinien być systematycznie monitorowany [2, 3]. W artykule opisano stan

techniczny dwóch najwyższych kominów w Polsce – kominą w Jaworznie ($H = 306$ m lub, jak podają inne źródła, $H = 300$ m) i w Warszawie ($H = 300$ m).

Opis analizowanych kominów

Komin elektrowni w Jaworznie powstał w 1977 r., natomiast komin elektrociepłowni Kawęczyn – sześć lat później. Oba kominy mają podobną, choć nie taką samą konstrukcję. Komin w Jaworznie posadowiono na fundamencie pierścieniowym na palach. Pier-

ścień ma szerokość 16,0 m, wysokość 2,0 m i zewnętrzną średnicę 51,94 m. Jest posadowiony na 513 palach Franki średnicy 0,508 m i długości 15,4÷17,4 m. Trzon kominy od poziomu terenu do poziomu +75,0 m ma kształt stożka, powyżej trzon jest w kształcie walca. W części stożkowej grubość trzonu wynosi 0,75 m, a w części walcowej zmienia się od 0,75 m do 0,18 m w koronie kominy. Komin zaprojektowano z betonu marki $R_w 250$ (nieco mniej niż obecna klasa $C20/25$ [4]), a jego zbrojenie ze stali klasy A-0, gatunku St0S. Wewnątrz trzonu zastosowano wymurówkę z cegły klinkierowej.

Komin elektrociepłowni Kawęczyn posadowiono na fundamencie płytowym o średnicy 50,0 m i wysokości 5,1 m. Trzon kominy od poziomu terenu do poziomu +229,58 m ma kształt stożka, powyżej wykonano go w kształcie walca. W części stożkowej średnica zewnętrzna kominy zmienia się od 16,76 do 16,1 m, a grubość trzonu od 0,7 m do 0,25 m. Komin zaprojektowano z betonu marki B25 ($C20/25$) do poziomu 100 m n.p.t. i B20 ($C16/20$) powyżej tego poziomu. Przyjęto zbrojenie ze stali klasy A-III, gatunku 34GS i A-0, gatunku St0S. Widok obu kominów pokazano na rys. 1.

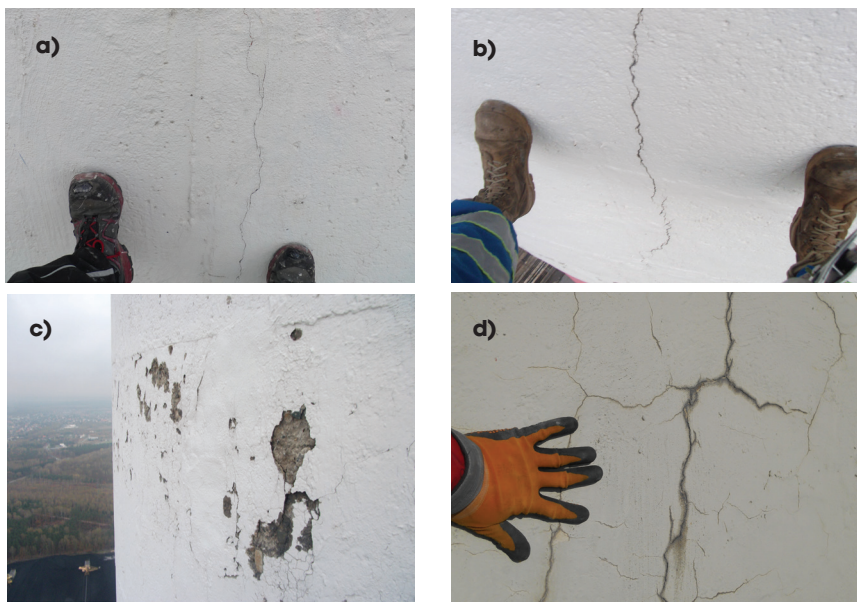
W kominie w Warszawie zabudowano trzy wewnętrzne przewody spalin, a komin w Jaworznie jest jednoprzewodowy. Komin w Jaworznie, po wykonaniu nowej instalacji odsiarczania spalin i ich odprowadzeniu do pobliskich chłodni kominowych, jest już wyłączony z użytkowania, natomiast komin elektrociepłowni Kawęczyn jest czynny, ale wykorzystywany jedynie jako awaryjny, zwykle raz w roku.

Wykonane badania i ich wyniki

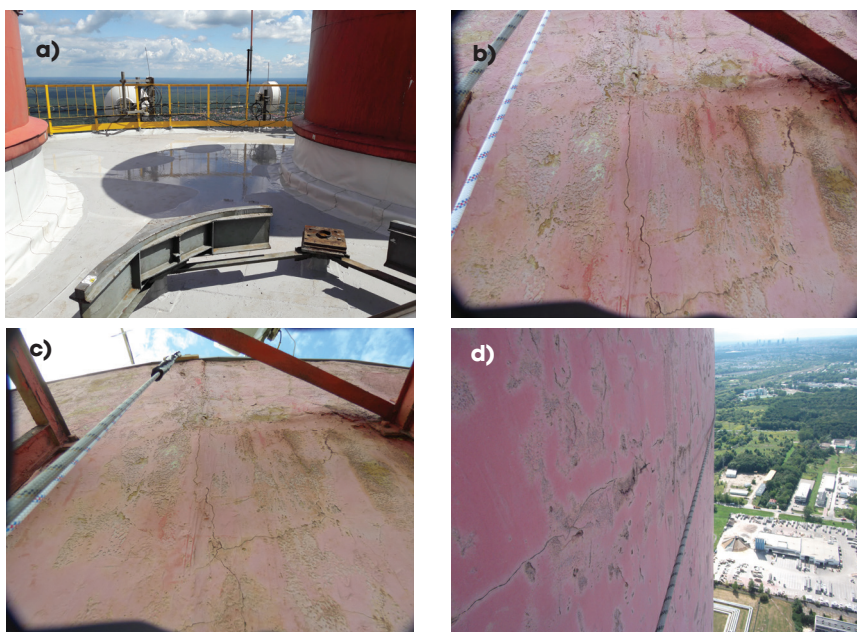
W celu określenia stanu technicznego kominów przeprowadzono dokładne oględziny technikami alpinistycznymi i wykonano niszczące oraz nieniszczące badania betonu i zbrojenia obu kominów, a także geodezyjne



Rys. 1. Widok analizowanych kominów: a) komin elektrowni w Jaworznie, b) komin elektrociepłowni Kawęczyn



Rys. 2. Przykładowe uszkodzenia kominia elektrowni w Jaworznie: a) i b) zarysowania pionowe, c) odspojenia otuliny, d) zarysowania powierzchniowe



Rys. 3. Przykładowe uszkodzenia kominia elektrociepłowni Kawęczyn: a) Zastoiska wodne na koronie kominia, b) i c) pionowe zarysowanie płaszczu, d) odspojenia otuliny betonowej

badania ich pionowości. W ramach badań niszczących z trzonu kominia pobrano próbki rdzeniowe betonu, na których wykonano badania nasiąkliwości betonu, badania chemiczne w celu określenia zagrożenia korozją zbrojenia i badania wytrzymałości betonu. W ramach badań nieniszczących badano wytrzymałość betonu (metodą sklerometryczną i ultradźwiękową) oraz lokalizację i średnice zbrojenia metodą elektromagnetyczną oraz radarową. Zastosowane w badaniach metody opisano szczegółowo w pracach [3, 5–7]. Z uwagi na wyłączenie z użytkowania nie było możliwości zastosowania metody termowizyjnej, która pozwalała na otrzymanie cennych informacji, niemożliwych do uzyskania innymi niszczącymi metodami [8, 9].

Oględziny wykazały, że w obu kominach występują lokalne uszkodzenia w postaci odspojień betonowej otuliny, lokalnych zarysowań, odspojień betonu i zarysowań w rejonie przerw roboczych, odspojień powłok naprawczych oraz degradacji zewnętrznych powłok malarskich. Występowała ponadto korozja stalowych drabinek i pomostów zewnętrznych, wewnętrznych oraz konstrukcji wsporczych pod instalacje i anteny. W kominie zlokalizowanym w Jaworznie stwierdzono ponadto zerwanie instalacji odgromowej oraz rozluźnienia struktury korony i gzymsu. Widok przykładowych uszkodzeń pokazano na rys. 2 i 3.

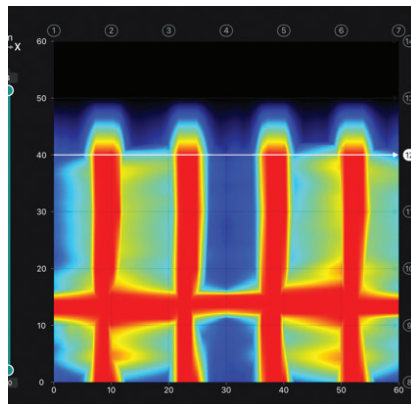
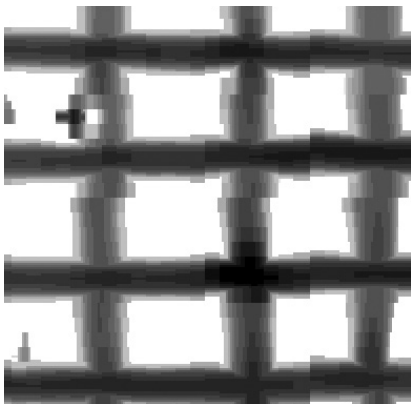
Niszczące i nieniszczące badania betonu wykazały, że klasa betonu jest znacznie większa od przyjętej w projektach. W przypadku kominia z Jaworzna stwierdzono, że zgodnie

Celem analizy obliczeniowej było stwierdzenie poprawności zaprojektowania obiektów i wykazanie, że spełnione są warunki stanu granicznego nośności dla obciążeń przyjętych z norm z pakietu Eurokod.

z PN-EN 206 [10] spełnia on klasę C35/45, a w przypadku kominia z Warszawy beton z trzonu poniżej 100,00 m n.p.t można zaliczyć do klasy C45/55, natomiast powyżej 100,00 m n.p.t do klasy C35/40. Badania nasiąkliwości wykazały, że beton ma nasiąkliwość większą niż 5%, wynoszącą średnio dla kominów z Jaworzna i Warszawy odpowiednio 7,4% oraz 8,5%. W badaniach chemicznych betonu określono zagrożenie korozją zbrojenia, która może być spowodowana zubożeniem betonu (niska wartość pH betonu) i obecnością chlorków w pobliżu zbrojenia. Badania zawartości chlorków w betonie obu kominów wykazały obecność chlorków w niskim stężeniu $0,002 \div 0,12\%$. Badania zubożnienia (karbonatyzacji) wykazały w strefach powierzchniowych obu kominów odczyn betonu niższy niż $\text{pH} = 11,3$ (Jaworzno) i $11,8$ (Warszawa), co oznacza obniżenie właściwości ochronnych betonu wobec stali zbrojeniowej. Przy powierzchni zbrojenia odczyn betonu był jednak wyższy, wciąż zapewniający właściwą ochronę zbrojenia przed korozją. Badania zawartości siarczanów pozwoliły stwierdzić, że obecnie stężenie siarczanów jest mniejsze niż dopuszczalne przez normę PN-EN 197-1 [11] dla cementów. Ponadto badania wytrzymałościowe betonu oraz wizualna ocena mikrostruktury betonu potwierdziły brak wpływu agresji siarczanowej na właściwości mechaniczne betonu kominów.

Badania elektromagnetyczne i radarowe wykazały, że zbrojenie obu kominów jest zgodne z projektami, jeśli chodzi o ilość oraz zastosowane średnice. Występowały jedynie nieznaczne odchyłki względem projektów w położeniu prętów i w grubości otuliny betonowej. Przykładowe skany zbrojenia pokazano na rys. 4.

Badania pionowości wykazały, że maksymalne wychylenie kominia w Jaworznie wynosi 560 mm, natomiast kominia w Warszawie – 120 mm. Uzyskane wyniki wychyleń nie odbiegają istotnie od wyników pomiarów prowadzonych w poprzednich latach. Niestety braki w dokumentacji z lat wcześniejszych nie pozwoliły stwierdzić, jaki procent z tego wychylenia wynika z odchyłek wykonawczych.



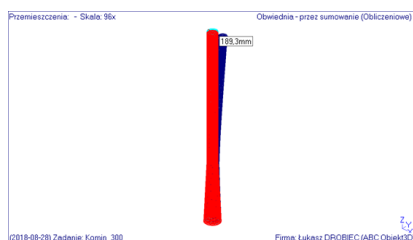
Rys. 4. Przykładowe skany zbrojenia kominów: a) komin elektrowni w Jaworznie – skan wykonany metodą elektromagnetyczną, b) komin elektrociepłowni Kawęczyn

Analiza obliczeniowa

Celem analizy obliczeniowej było stwierdzenie poprawności zaprojektowania obiektów i wykazanie, że spełnione są warunki stanu granicznego nośności dla obciążeń przyjętych z norm z pakietu Eurokod. Zbudowano modele numeryczne kominów w programie ABC Obiekt 3D oraz wykonano obliczenia statyczne zgodnie z zaleceniami podanymi w Instrukcji ITB nr 459/2010 [12]. W obu modelach przyjęto wymiar siatki elementów skończonych 50 x 100 cm, co dawało około 30000 elementów skończonych na model. Model obciążono ciężarem własnym i ciężarem urządzeń, śniegiem (na dachu) oraz obciążeniem wiatrem.

W wyniku obliczeń w obu przypadkach uzyskano zbliżone wartości obliczanych maksymalnych wychyleń – 207,5 mm dla komina w Jaworznie i 189,3 mm dla komina w Warszawie (rys. 5.). W przypadku komina w Jaworznie obliczeniowe wychylenie jest mniejsze od zmierzonego. Istnieje jednak podejrzenie, poparte przekazami ustnymi (nie zachowały się żadne potwierdzające to dokumenty), że komin został wykonany z pewną odchyłką od pionu. W przypadku komina w Warszawie obliczone przemieszczenia są natomiast większe od pomierzonych, należy jednak pamiętać, że w czasie pomiaru nie obserwowano normowego obciążenia wiatrem.

Wykonano również wymiarowanie zbrojenia w pasach najbardziej wyętvzonych. W wyniku obliczeń stwierdzono, że w obu kominach potrzebne zbrojenie jest mniejsze od zastosowanego. Największe uzyskane



Rys. 5. Obliczone przemieszczenie komina w Warszawie

obliczeniowe wyętvzenie w przekroju komina wynosiło około 78% w kominie w Jaworznie i około 82% w kominie w Warszawie. Można zatem stwierdzić, że kominy zostały zaprojektowane poprawnie.

Stan techniczny i zalecenia naprawcze

Stan techniczny obu kominów jest zadowalający, a jedynie lokalnie nieco gorszy. Jako niezadowalający określano stan zewnętrznych galerii i konstrukcji wsporczych pod urządzenia mocowanych do płaszcza kominów. Wydano zalecenia naprawcze dotyczące konserwacji elementów stalowych, uszczelniających iniekcji zarysowań żywicami poliuretanowymi oraz reprofilacji betonu obu kominów w strefie ubytków otuliny materiałami PCC (*polymer cement concrete*).

Podsumowanie

Oba najwyższe w kraju kominy wykazują szereg uszkodzeń spowodowanych naturalnym zużyciem materiałów, przyspieszonym eksploatacją, znaczną ekspozycją i związanymi z tym niekorzystnymi warunkami pracy.

Obiekty zaprojektowano oraz wykonano poprawnie. W obu przypadkach określona na podstawie niszczących i nieniszczących badań klasa betonu była znacznie wyższa niż to zakładały projekty.

Badania chemiczne betonu wykazały, że w chwili obecnej właściwości ochronne betonu wobec zbrojenia są nieznacznie obniżone, a procesy korozyjne zbrojenia są w początkowym stadium, mającym znikomy wpływ na nośność konstrukcji komina.

Konieczne jest dalsze prowadzenie systematycznych przeglądów oraz badań konstrukcji obu obiektów.

Literatura:

- [1] Fijak S., Kominy żelbetowe, jedno- i wieloprzewodowe. 2011.
- [2] Karl L., Elementy budownictwa przemysłowego. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1974.
- [3] Lechman M., Konstrukcje wieżowe żelbetowe i murowe. Podstawy diagnostyki. Wydawnictwo ITB, Warszawa 2020.
- [4] Kobiak J., Stachurski W., Konstrukcje żelbetowe. Tom 1. Arkady, Warszawa 1984.

- [5] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A., Diagnostyka konstrukcji żelbetowych. Metodologia, badania polowe, badania laboratoryjne betonu i stali. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
- [6] Drobiec Ł., Diagnostyka konstrukcji przemysłowych. „Materiały Budowlane” 2015, nr 2, s. 32–34.
- [7] Drobiec Ł., Badania nieniszczące wykorzystywane w praktyce budowlanej. „Badania nieniszczące i diagnostyka”, 3/2018, s. 76–80.
- [8] Sendkowski J., Tkaczyk A., Tkaczyk Ł., Termowizja i termografia w diagnostyce kominów przemysłowych. Przykłady, możliwości. „Przegląd Budowlany” 2/2013, s. 21–25.
- [9] Wróbel A., Wróbel A., Kędzierski M., Termografia w pomiarach inwentaryzacyjnych kominów przemysłowych – cz. I, „Inżynier Budownictwa” 2/2012.
- [10] PN-EN 206+A2:2021-08 Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [11] PN-EN 197-1:2012. Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku.
- [12] Lechman M. Instrukcja ITB nr 459/2010. Wolnostojące kominy żelbetowe. Obliczanie i projektowanie według PN-EN. Wydawnictwo ITB, Warszawa 2010.

DOI: 10.5604/01.3001.0015.8048

PROWIDŁOWY SPOŚÓB CYTOWANIA

Drobiec Łukasz, 2022, Stan techniczny dwóch żelbetowych kominów o wysokości około 300 m, „Builder” 4 (297). DOI: 10.5604/01.3001.0015.8048

Streszczenie: Artykuł dotyczy stanu technicznego dwóch najwyższych kominów w Polsce, zlokalizowanych w Jaworznie oraz w Warszawie. Oba kominy mają konstrukcję żelbetową. Na obu obiektach przeprowadzono liczne prace diagnostyczne. Wykonano nieniszczące i niszczące badania betonu i zbrojenia. Przeprowadzono szczegółowe oględziny z wykorzystaniem technik alpinistycznych. Określano ponadto stopień karbonatacji betonu. Wykonano obliczenia sprawdzające. Na podstawie uzyskanych wyników badań oraz analiz podano wytyczne dotyczące dalszej eksploatacji.

Słowa kluczowe: żelbetowy komin, diagnostyka konstrukcji, badania nieniszczące, analiza numeryczna

Abstract: THE TECHNICAL CONDITION OF TWO 300 M HIGH REINFORCED CONCRETE CHIMNEYS. The article concerns the technical condition of the two highest chimneys in Poland, located in Jaworzno and Warsaw. Both chimneys have a reinforced concrete structure. Numerous diagnostic works were carried out on both sites. Non-destructive and destructive tests of concrete and reinforcement were performed. A detailed inspection was carried out with the use of mountaineering techniques. Moreover, the degree of concrete carbonation was determined. Verification calculations were made. Based on the obtained test results and analyzes, guidelines for the further operation were given.

Keywords: reinforced concrete chimney, structure diagnostics, non-destructive testing, computational analysis