

# Stan awaryjny remontowanego komina żelbetowego o wysokości 120 m

Dr hab. inż. Rajmund Oruba, dr inż. Stanisław Barycz, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, mgr inż. Leszek Hawro, SAVEX Sp. z o.o., Zgorzelec

## 1. Wprowadzenie

W latach 1974–1975 wybudowano dwa identyczne kominy żelbetowe wysokości 120 m do odprowadzania spalin z pieców obrotowych cementowni [2]. W ostatnich latach oprócz węgla (65%) stosuje się tzw. paliwa alternatywne (35%). W przyszłości udział paliw alternatywnych ma wzrosnąć do 55%. Średnia temperatura spalin wynosi  $+118^{\circ}\text{C}$ , a ich wilgotność 14,9%. W przypadku zakłóceń w pracy pieca chwilowa temperatura spalin może wzrosnąć nawet do  $+270^{\circ}\text{C}$ . Spaliny zawierają w swoim składzie wiele związków chemicznych, które charakteryzują się znaczną agresywnością w stosunku do konstrukcji budowlanych. Konstrukcję nośną każdego z kominów stanowi żelbetowy trzon monolityczny o skokowo zmiennej grubości: od 0,30 m w dolnej części komina do 0,15 m u wylotu. Średnica zewnętrzna trzonu na poziomie terenu wynosi 7,80 m i zmniejsza się do 4,60 m przy wylocie. Na poziomie  $+5,0$  m znajduje się strop odpielania. W żelbetowym trzonie wykształcono od wewnątrz wsporniki podwykładzinowe. Wymurówkę wewnętrzną wykonano z cegły ceramicznej na zaprawie cementowo-wapiennej, o grubości 12 cm. Pomiędzy trzonem żelbetowym a wymurówką zastosowano izolację termiczną z wełny mineralnej. Spaliny doprowadzane są jednym czopuchem z otworem wlotowym spalin o wymiarach  $2,0 \times 9,0$  m.

Kominy charakteryzowały się niską jakością wykonawstwa i wieloma wadami typowymi dla podobnych

obiektów wznoszonych w Polsce w latach 70. XX wieku [3].

Jeden z kominów (K1) poddano kompleksowej rewitalizacji w latach 2008÷2009 [2]. W pierwszej kolejności dokonano wymiany wymurówki wewnętrznej i izolacji termicznej, po uprzednim remoncie wewnętrznej powierzchni trzonu żelbetowego. Drugim etapem prac był remont zewnętrznej powierzchni trzonu żelbetowego.

Znaczne zużycie techniczne także drugiego komina (K2) było podstawą do podjęcia w 2010 roku decyzji o kompleksowej jego modernizacji. Z uwagi na bliźniacze rozwiązania konstrukcyjne [5] i identyczne warunki eksploatacji obu kominów przyjęto, że zakres robót modernizacyjnych komina K2 będzie analogiczny do zastosowanego dla komina K1.

Prace remontowe rozpoczęto w styczniu 2011 r. od wyburzenia wymurówki wewnętrznej i usunięcia zdegradowanej izolacji termicznej z wełny mineralnej.

Przeгляд techniczny odsłoniętej wewnętrznej powierzchni trzonu wyka-

zał występowanie następujących nieprawidłowości: niedokładności wykonawcze, imperfekcje geometryczne, wady technologii betonowania, powierzchniowe korozyjne ubytki betonu, odsłonięte zbrojenie, korozja odsłoniętego zbrojenia, pionowe rysy termiczne, rysy poziome i ukośne, niedokładności ułożenia zbrojenia zewnętrznego, uszkodzenia trzonu w rejonie otworu wlotowego spalin oraz odalkalizowanie powierzchni trzonu. Stwierdzony stan techniczny wewnętrznej powierzchni trzonu żelbetowego, jakkolwiek niekorzystny, w zasadzie nie odbiegał od stanu komina K1. W związku z tym przyjęto, że zastosowana koncepcja remontu komina K2 jest prawidłowa.

Remont wewnętrznej powierzchni trzonu żelbetowego rozpoczęto od góry, usuwając słabe, luźne partie skorodowanego betonu. Po antykorozyjnym zabezpieczeniu odsłoniętego zbrojenia, ubytki betonu uzupełniano torkretem zbrojonym siatką z prętów stalowych. Prace takie wykonano od poziomu  $+120,0$  m



**Rys. 1.**  
Warstwowe  
odsłojenia  
betonu trzonu  
komina



**Rys. 2.** Wyboczenie pionowego pręta zbrojenia trzonu komina

do +80,0 m. W trakcie dalszego wykonywania robót stwierdzono bardzo niską wytrzymałość betonu i odspajanie się całych płytów betonu. W wielu przypadkach dochodziło nawet do perforacji trzonu. Szczególne nasilenie tych procesów występowało w strefach nadwspornikowych trzonu.

Z uwagi na zagrożenie bezpieczeństwa, 16.06.2011 r. roboty remontowe zostały wstrzymane.

## 2. Wyniki badań żelbetowego trzonu komina

Po wstrzymaniu robót remontowych podjęto badania stanu technicznego żelbetowego trzonu komina [6]. Wyniki badań miały stanowić materiał do podjęcia decyzji odnośnie możliwości kontynuowania prac związanych z modernizacją obiektu.

W ramach tych badań wykonano: dokładny przegląd wewnętrznej i zewnętrznej strony trzonu, badania chemiczne i fizyczne rdzeniowych próbek betonowych pobranych z trzonu żelbetowego, badania laboratoryjne wytrzymałości betonu, interpretację geodezyjnych pomiarów wychyleń i osiadań komina oraz interpretację

dynamicznych pomiarów częstotliwości drgań własnych komina.

Na zewnętrznej stronie żelbetowego trzonu komina występowały bardzo liczne spękania i odspojenia nałożonej w 2002 roku polimerowo-cementowej zaprawy naprawczej wraz ze szczelną powłoką malarską.

Główną nieprawidłowością stwierdzoną na zewnętrznej powierzchni trzonu komina były warstwowe odspojenia płytów betonu (rys. 1). Korozyjnie zdegradowane partie betonu dały się łatwo oddzielać od podłoża. Najgorszy stan stwierdzono w pasie wysokości około 2 m bezpośrednio nad galerią na poziomie +80 m, gdzie warstwowo zdegradowany beton sięgał na głębokość do około 8 cm. W przedziale wysokości od +40 do +80,0 m grubość korozyjnie zdegradowanych warstw betonu oszacowano od 5 do 6 cm. W dolnej części komina, w rejonie otworu wlotowego spalin (poziom od +28 m do +40,0 m) głębokość lokalnych, warstwowych odspojień betonu dochodziła nawet do 10 cm. Stwierdzono kilka przypadków perforacji trzonu żelbetowego. W dolnej części trzonu komina, od poziomu terenu do +28 m, nie stwierdzono występowania tego typu uszkodzeń. W betonie trzonu stwierdzano wyraźne zawilgocenie oraz wiele śladów po intensywnych przesączeniach

kondensatu spalin. W wielu przypadkach powierzchnia betonu pokryta była chemicznymi osadami.

W dolnej części trzonu komina od poziomu około +10 do +28 m występowały pojedyncze rysy pionowe, o charakterze termicznym. Rysy te, o długości od kilku do kilkunastu metrów, miały rozwarstość do 1,0 mm.

Stwierdzono kilka przypadków występowania zjawisk reologicznych trzonu żelbetowego, polegających na miejscowym wybaczaniu się pionowych prętów zbrojeniowych i odspajaniu otuliny betonowej (rys. 2). Odstłonięte pręty były powierzchniowo skorodowane. Niewłaściwe, niezgodne z projektem [5] ułożenie zbrojenia trzonu (pręty pionowe po stronie zewnętrznej, a pręty obwodowe po stronie wewnętrznej) nasila procesy reologiczne [3].

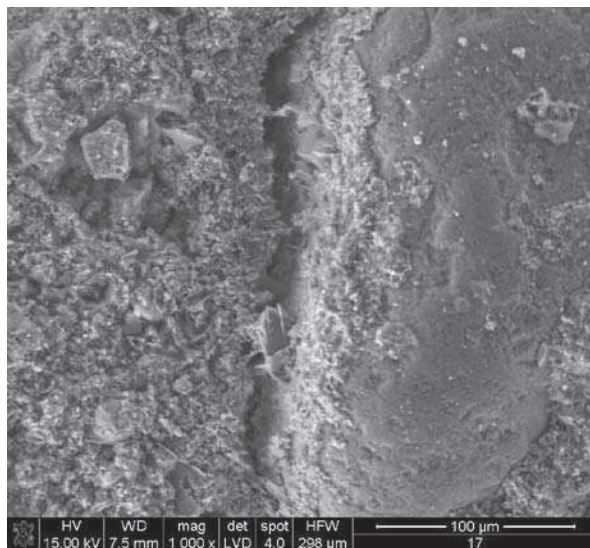
Z żelbetowego trzonu komina pobrano 18 rdzeni badawczych. Próbkę tę wykorzystano do oceny jakości i wytrzymałości betonu oraz badań chemicznych i fizycznych. Beton w siedmiu rdzeniach rozpadł się w trakcie pobierania z konstrukcji (rys. 3).

Przeprowadzone badania laboratoryjne [6] pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków. Zarówno po stronie zewnętrznej, jak i wewnętrznej występowała znaczna karbonatyzacja betonu. W wie-



**Rys. 3.** Rdzeniowa próbka betonowa pobrana na poziomie +51,0 m. Beton rozkruszony i rozwarstwiony. Korozja pręta zbrojeniowego





**Rys. 4.**  
Powierzchnia przekładu próbki betonu – powiększenie 1000× (SEM). Pęknięcie na granicy ziarna kruszywa z zaczynem cementowym

lu rdzeniach obejmowała ona całą grubość trzonu. Skarbonatyzowany beton nie zapewnia właściwej ochrony zbrojenia. Prawie wszystkie pobrane rdzenie betonowe wykazywały poprzeczne spękania i rozwarstwienia. Oddzielające się warstwy miały grubość od kilku do kilkadziesiąt mm. Zbrojenie wycięte wraz z rdzeniami było skorodowane. Produkty korozji, których objętość jest ponad dwukrotnie większa od stali, powodują spękania i odspojenia otuliny betonowej. Lokalizacja prętów zbrojeniowych trzonu była przypadkowa. Zgodnie z projektem [5] zbrojenie powinno występować po stronie zewnętrznej, natomiast w rzeczywistości stwierdzano je w środku przekroju, a nawet blisko wewnętrznej powierzchni rdzeni. Ponadto pionowe pręty zbrojeniowe znajdowały się od strony zewnętrznej w stosunku do zbrojenia obwodowego, choć według projektu miało być odwrotnie. Beton trzonu komina był porowaty, a średnica porów dochodziła do kilku mm. Stwierdzono liczne ziarna kruszywa z kamienia wapiennego, czasem rozkruszone. Beton wykazywał objawy intensywnej korozji chemicznej zarówno po stronie wewnętrznej, jak i zewnętrznej trzonu. Do badań niszczących wytrzymałości betonu można było zakwalifikować tylko 7 rdzeni betonowych spośród 18 pobranych z trzonu komina. Uzyskane wyniki wykazywa-

ły znaczny rozrzut. Klasę badanego betonu oszacowano jako C16/20. Uwzględniając wyniki przeprowadzonych badań stwierdzono, że tylko w dolnej części komina, tj. od ±0,0 do +50,0 m beton trzonu charakteryzuje się wytrzymałością nie mniejszą od tej, którą założono w dokumentacji projektowej ( $R_w=200 \text{ kG/cm}^2$ ). Biorąc pod uwagę znacznie zaawansowane procesy korozyjne przyjęto, że w niedalekiej przyszłości także i tu może nastąpić spadek wytrzymałości, podobnie jak w przypadku betonu w środkowej i górnej części trzonu komina. Wyniki badań wykazały, że beton w badanym kominie jest słabo zagęszczony, porowaty i niejednorodny. Gęstość pozorna betonu badanych rdzeni zawierała się

w przedziale od 2000 do 2100  $\text{kg/m}^3$ , wobec wymaganych 2400  $\text{kg/m}^3$ . Beton w takim stanie wykazuje małą odporność na agresję chemiczną i wpływy atmosferyczne.

Badaniom chemicznym, punktowej analizie chemicznej (EDS) oraz badaniom z zastosowaniem skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) poddano okruszywa betonu pobrane z wewnętrznych i środkowych partii rdzeni. Pozwoliły one na określenie morfologii i składu chemicznego analizowanego materiału badawczego. W badanych próbkach betonu stwierdzono dużą zawartość anionów  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  i  $\text{SO}_4^{2-}$ , wskazującą na znaczny stopień zaawansowania korozji kwasowej. Powszechnie występujące pęknięcia na granicy ziaren kruszywa z zaczynem cementowym na obrazach morfologii przekładów próbek betonowych potwierdzają występowanie zjawisk destrukcji betonu (rys. 4).

Duży wpływ na przyspieszony przebieg procesów korozyjnych miało stosowanie od kilku lat tzw. paliw alternatywnych (śmieci i materiały odpadowe).

Zwraca się również uwagę na synergiczność procesu korozyjnej destrukcji betonu wywołanej wieloma czynnikami równocześnie. Wypadkowy efekt takiego oddziaływania jest zawsze dużo większy niż suma oddziaływań od poszczególnych czynników.



**Rys. 5.**  
Wyburzenie komina K2 z zastosowaniem platformy do rozbiórki kominów żelbetowych

### 3. Ocena możliwości dalszej eksploatacji kominia

W świetle uzyskanych wyników badań stwierdzono, że z uwagi na bardzo zły stan techniczny kontynuowanie remontu kominia byłoby przedsięwzięciem technicznie skomplikowanym i bardzo kosztownym. Stosunkowo długi okres projektowania wzmocnienia kominia i następnie jego realizacji, wynikający z nietypowego rozwiązania stanowił dodatkowe ryzyko dla korozyjnie osłabionej konstrukcji żelbetowego trzonu nośnego. W związku z powyższym koncepcję kontynuacji modernizacji kominia uznano ze względów technicznych i ekonomicznych za mało racjonalną i podjęto decyzję o jego rozbiórce.

Przeanalizowano dwie możliwości rozbiórki kominia. Pierwszą, z zastosowaniem materiałów wybuchowych, drugą za pomocą specjalnej platformy wyburzeniowej wyposażonej w hydrauliczne urządzenia do miażdżenia betonu [1].

Z uwagi na gęstą zabudowę czynnego zakładu zdecydowano się na zastosowanie specjalistycznej platformy do rozbiórki kominów żelbetowych (rys. 5).

W celu zapewnienia bezpiecznej realizacji robót rozbiórkowych nieodzownym okazało się wzmocnienie trzonu kominia w przedziale wysokości od +50 m do +80 m. Wzmocnienie polegało na zastosowaniu zbrojonego torkretu nakładanego na wewnętrzną powierzchnię trzonu żelbetowego. Od +80 m do +120 m trzon wzmocniono wcześniej w ramach pierwszej fazy remontu wewnętrznej strony trzonu kominia.

Ponadto zalecono, aby w przypadku wystąpienia wiatru o prędkości większej od 20 m/s wstrzymać roboty rozbiórkowe i ewakuować ludzi pracujących w sąsiedztwie kominia.

### 4. Podsumowanie

W planowaniu robót remontowych kominia żelbetowego nie można sugerować się stanem innego kominia, nawet o identycznej konstrukcji i eksploatowanego w podobnych warunkach, w tym samym okresie czasu. Nie należy stosować rozwiązań konstrukcyjnych per analogiam, gdyż każdy z tych kominów może charakteryzować się innym stanem technicznym.

Agresywne substancje zawarte w spalinach z paliw alternatywnych powodują przyspieszoną degradację koro-

zyjną konstrukcji kominów. Z uwagi na trwałość tych obiektów, powinny one być przedmiotem szczególnej troski ich użytkowników.

Przed rozpoczęciem robót rozbiórkowych kominia, którego trzon żelbetowy charakteryzuje się bardzo małą wytrzymałością betonu należy liczyć się z koniecznością wzmocnienia trzonu, na przykład poprzez zastosowanie zbrojonego torkretu.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Barycz S., Oruba R., Wyburzanie zużytych technicznie żelbetowych kominów przemysłowych. Półrocznik AGH, Inżynieria Środowiska, t. 9, z. 2, 2004
- [2] Barycz S., Oruba R., Przykład modernizacji znacznie zużytego żelbetowego kominia przemysłowego, Przegląd Budowlany, 5/2010
- [3] Oruba R., Oddziaływanie środowiska przemysłowego i eksploatacji górniczej na bezpieczeństwo żelbetowych kominów przemysłowych, Wydawnictwa AGH, Kraków 2010

#### WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [4] PN-88/B03004 Kominy murowane i żelbetowe.
- [5] Projekt techniczny kominów nr 1 i 2 H = 120 m. KBPBBP, Kraków 1973.
- [6] Ocena stanu technicznego żelbetowego trzonu kominia nr 2 H = 120 m w Cementowni Ożarów, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, 2011

Artykuł opracowano w ramach badań statutowych AGH Akademii Górniczo-Hutniczej nr 11.11.150.005.

