

Stanisław Barycz*, Rajmund Oruba*

Wykorzystanie rdzeniowych próbek betonu do badania korozyjnej degradacji żelbetowych kominów przemysłowych**

1. Wprowadzenie

Żelbetowe kominy przemysłowe na równi z innymi budowlami i urządzeniami technologicznymi decydują o ciągłości produkcji zakładów przemysłowych. W Polsce dominują jednoprzewodowe kominy żelbetowe, wysokości od 70 do 300 m, wzniesione w latach 1950–1990. Konstrukcją nośną kominów jest monolityczny trzon żelbetowy, w którym co 10÷15 m wykształcone są od strony wewnętrznej wsporniki dla oparcia wymurówki wewnętrznej, wykonanej przeważnie z ceramicznej cegły pełnej (rzadziej szamotowej) na zaprawie cementowo-wapiennej. W przestrzeni pomiędzy trzonem żelbetowym a wymurówką znajduje się izolacja termiczna, najczęściej z żużla granulowanego lub wełny mineralnej.

Kominy te po wielu latach intensywnej eksploatacji, przy niskiej jakości wykonawstwa – charakterystycznej dla okresu ich budowy – i braku właściwej konserwacji, wykazują obecnie znaczne zużycie techniczne. Po wielu latach użytkowania dochodzi często do całkowitej perforacji żelbetowego trzonu, spowodowanej procesami korozyjnymi (por. rys. 1).

W celu oceny stanu technicznego tych kominów niezbędne jest prowadzenie okresowych przeglądów. Zgodnie z ustawą Prawo budowlane przeglądy o podstawowym zakresie należy wykonywać przynajmniej raz w roku (przeglądy roczne), a kompleksowe badania co 5 lat (przeglądy pięcioletnie). Szczegółowy ich zakres podano w pracy [1].

Pierwsze próby pobierania rdzeni betonowych do oceny cech fizykochemicznych betonu przeprowadzono w Polsce na początku lat 70. XX wieku [2]. Z powodu braku specjalistycznego sprzętu stosowano wówczas wiertnicę górniczą WD-02.

* Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

** Praca wykonana w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.150.312



Rys. 1. Widok perforacji żelbetowego trzonu kominu po usunięciu skorodowanej partii betonu

Ostatnio badania z wykorzystaniem betonowych rdzeni pobranych z trzonu nośnego kominu za pomocą specjalnej wiertnicy (por. np. [3–5]) stają się jedną z podstawowych metod diagnostyki kominów żelbetowych, oprócz szczegółowej inwentaryzacji uszkodzeń i występujących nieprawidłowości. Badania te umożliwiają uzyskanie dokładnych danych dotyczących stanu technicznego kominu. Dotyczą one oceny rzeczywistej grubości ściany trzonu żelbetowego w stosunku do założeń projektowych, określenia korozyjnych ubytków betonu i uzyskania próbek betonowych do badań laboratoryjnych (fizycznych, chemicznych i wytrzymałościowych) oraz dodatkowo oceny rodzaju, grubości i stanu izolacji termicznej, a także wymurówki wewnętrznej.

Brak jest wytycznych do przeprowadzania tego typu badań w przypadku kominów żelbetowych. W normie [7] podano tylko ogólne uwagi dotyczące pobierania rdzeni betonowych z konstrukcji betonowych oraz oceny i badania wytrzymałości betonu. Dlatego też w artykule przedstawiono uwagi na temat poszczególnych etapów prac związanych z pobieraniem rdzeni betonowych z żelbetowych kominów przemysłowych. Są one wynikiem doświadczeń autorów uzyskanych w trakcie wieloletnich badań tego typu obiektów [6].

Uwagi te dotyczą następujących problemów:

- wyboru miejsc pobierania rdzeni i ich liczby,
- technologii pobierania próbek z konstrukcji kominów,
- sposobu przygotowania próbek do laboratoryjnych badań fizykochemicznych,
- zakresu możliwych badań laboratoryjnych pobranych próbek.

Wyniki powyższych badań stanowią podstawę do obliczeń statyczno-wytrzymałościowych, które umożliwiają ocenę bezpieczeństwa komina oraz określenia zakresu i sposobu wykonania ewentualnego remontu.

2. Wybór miejsc badawczych na trzonie komina

Z uwagi na znaczne wysokości kominów żelbetowych (od 70 do 300 m) pobieranie próbek rdzeniowych związane jest z dużymi trudnościami technicznymi. W związku z tym należy tak dobrać miejsca badawcze, aby przy minimalnej liczby próbek uzyskać niezbędne informacje umożliwiające dokonanie oceny stanu technicznego badanego komina. Chodzi przede wszystkim o stwierdzenie największych korozyjnych ubytków betonu zmniejszających nośność trzonu oraz ocenę rzeczywistych cech fizykochemicznych betonu.

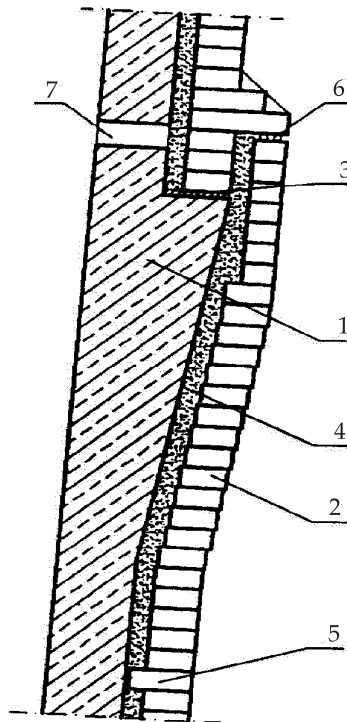
Z praktyki wiadomo, że ubytki takie występują głównie po wewnętrznej stronie trzonu żelbetowego, w rejonach nad wspornikami podtrzymującymi wymurówkę i izolację termiczną. Kwaśne kondensaty spalin, niemogące odparować na zewnątrz komina, spływając w dół gromadzą się pomiędzy trzonem a wymurówką wewnętrzną właśnie nad wspornikami. Tam też powinny być zlokalizowane wiercenia badawcze (rys. 2). Największy zakres tych nieprawidłowości ma miejsce z reguły w górnej części komina, tam gdzie schładzanie spalin jest największe (występuje tam niższa temperatura spalin i w efekcie ich kondensacja). Pobieranie próbek z tych rejonów wiąże się jednak z dużymi problemami technicznymi, wymaga bowiem stosowania technik wysokogórskich.

Kolejnym czynnikiem decydującym o wyborze miejsc badawczych jest występowanie emiterów spalin i innych agresywnych substancji w bezpośrednim sąsiedztwie komina. Przykładem takiej sytuacji jest „omywanie” komina przez spaliny z sąsiedniego, niższego komina, co powoduje przyspieszoną korozję strony zewnętrznej jego trzonu.

Zwraca się uwagę na następujące dodatkowe uwarunkowania dotyczące miejsc poboru rdzeni:

- nie należy pobierać rdzeni z miejsc przerw technologicznych w betonowaniu trzonu, gdzie występują raki i rozsegregowania betonu oraz spękania

- poziome i ubytki betonu; w konsekwencji nie da się pobrać z tych miejsc niespękanych rdzeni betonowych;
- należy pobrać próbki rdzeniowe z miejsc, gdzie stwierdzi się obliczeniowo największe wykorzystanie nośności przekroju trzonu komina.



Rys. 2. Lokalizacja miejsca pobrania próbki betonowej w rejonie największych ubytków korozyjnych nad wspornikiem podwykładzinowym: 1 – trzon komina, 2 – wykładzina ceglana, 3 – podkładka azbestowa, 4 – izolacja termiczna, 5 – wysunięte prostki wykładziny (sięgacze), 6 – wypełnienie szczeliny dylatacyjnej co najmniej dwoma rzędami sznura termooizolacyjnego, 7 – miejsce pobrania rdzenia betonowego

Na podstawie wyników wcześniejszych przeglądów i obserwacji komina ustala się program wyboru miejsc pobrania próbek i ich liczbę. Miejsca badawcze należy zlokalizować głównie w tych rejonach, gdzie wcześniej stwierdzono największe ubytki korozyjne betonu. Jeśli takich badań dotychczas nie wykonywano, należy je określić losowo, kierując się powyższymi uwagami. W miarę możliwości należy pobierać próbki z poziomów pomiędzy galeriami. Niestety najczęściej są one pobierane tylko z poziomu terenu oraz z pomostów galerii światła przeszkodowych, z uwagi na łatwiejszy dostęp do nich. Powinno się pobierać od 12 do 24 próbek, w zależności od wysokości i stanu technicznego komina.

3. Sposób pobierania betonowych próbek rdzeniowych z trzonu komina

Rdzeniowe próbki betonowe pobiera się za pomocą specjalnych wiertnic wyposażonych w wiertła z cylindrycznymi koronkami diamentowymi. Pobierane próbki mogą mieć średnicę od około 50 do 150 mm. Długość pobieranych rdzeni może dochodzić do 800 mm i może również objąć przestrzeń izolacji termicznej i wykładziny wewnętrznej. Wiercenie odbywa się prostopadle do powierzchni tworzącej trzonu. Wiertnice o wadze kilkudziesięciu kilogramów wymagają stosowania specjalnego zakotwienia do trzonu komina przed rozpoczęciem wiercenia.

W trakcie wiercenia stosuje się chłodzenie wodne. Przy pracy urządzenia na poziomie terenu chłodzenie wodne realizowane jest przez podłączenie węzłem elastycznym bezpośrednio do instalacji wodociągowej. W przypadku pracy na wysokości komina wodę pobiera się z około 40-litrowego pojemnika, który zawieszony jest na wysokości kilku metrów powyżej miejsca wiercenia. Transport wiertnicy i wody na duże wysokości (do 300 m) jest technicznie skomplikowany i wymaga stosowania wciągarek i specjalistycznego sprzętu, głównie wspinaczkowego (por. rys. 3).

Zasilanie elektryczne urządzeń odbywa się z reguły z instalacji elektrycznej świateł przeszkodowych na galeriach, chociaż nie zawsze jest to możliwe z uwagi na ich stan techniczny. Zdarzało się, że przy znacznych długościach kabli zasilających obserwowano duże spadki napięcia, co uniemożliwiało właściwą pracę urządzeń.

Pobieranie rdzeni zaliczyć należy do prac technicznie skomplikowanych, charakteryzujących się szczególnym zagrożeniem dla bezpieczeństwa. Dlatego powinny być wykonywane przez osoby posiadające odpowiednie kwalifikacje, uprawnienia i doświadczenie. Wskazane byłoby, aby prace te były prowadzone z platformy roboczej (rusztowania wiszącego), np. w czasie remontu komina. W innych przypadkach nie jest to uzasadnione ekonomicznie, chyba że zamierza się pobrać większą liczbę rdzeni.

Istnieje także możliwość pobierania małych próbek o średnicy do 40 mm i długości do 80 mm za pomocą zwykłych wiertarek. Próbki te pozwalają na uzyskanie materiału tylko do badań chemicznych.

Bardzo ważne jest szczegółowe i jednoznaczne opisanie każdej pobieranej próbki (numer próbki, poziom pobrania, lokalizacja miejsca pobrania w stosunku do stron świata, opis miejsca pobrania, kierunek pobierania oraz makroskopowa ocena pobranego materiału).

Poprzez wywiercony otwór można także czasem ocenić (jeśli grubość trzonu jest niewielka) stan izolacji termicznej (jej rodzaj i stopień korozji) oraz pobrać próbki tej izolacji do chemicznych badań laboratoryjnych.

W koniecznych przypadkach, gdy nie ma możliwości dokonania przeglądu wnętrza (ciągła praca komina), wskazane jest także pobranie, za pomocą wiertnicy, próbek wymurówki wewnętrznej.



Rys. 3. Pobieranie rdzeni betonowych pomiędzy galeriami na poziomie +140 m

Wszystkie otwory w trzonie po pobranych rdzeniach muszą zostać zamknięte (zaślepienie) cementową zaprawą naprawczą. Ze względów estetycznych wskazane byłoby także oczyszczenie (umycie) zacieków wodnych na zewnętrznej powierzchni trzonu pod otworami badawczymi.

4. Sposób przygotowania pobranych rdzeni betonowych do badań laboratoryjnych

Pobrane rdzenie betonowe stanowią podstawowy materiał badawczy, dlatego należy określić taki zakres badań, który umożliwi dokonanie poprawnej, całościowej oceny stanu technicznego komina. W pierwszym etapie należy dla każdej próbki założyć specjalną metrykę oraz wykonać dokumentację fotograficzną. Każda próbka powinna posiadać dokumentację fotograficzną w postaci co najmniej trzech zdjęć: części czołowej (zewnętrznej i wewnętrznej) oraz widoku z boku (prostopadle do osi rdzenia).

Następnie trzeba dokonać szczegółowej oceny makroskopowej. Przy czym należy uwzględnić takie czynniki, jak:

- wygląd powierzchni czołowych (od strony zewnętrznej i wewnętrznej) oraz powierzchni pobocznych;
- zaawansowanie korozji betonu, oszacowanie grubości warstw skorodowanych, opis produktów korozji;
- jakość technologii betonowania (wielkość i rozmieszczenie kruszywa, jednorodność betonu, raki i inne nieprawidłowości);
- dokładny pomiar geometrii rdzeni, ze szczególnym uwzględnieniem „zdrowej” części betonu.

W przypadku wycięcia fragmentów prętów zbrojeniowych należy pomierzyć ich średnice, grubość otuliny betonowej oraz określić postęp ewentualnej korozji stali i jej przyczepność do betonu.

Kolejnym etapem, poprzedzającym pocięcie rdzeni na poszczególne plastry, jest określenie głębokości zubożenia betonu. Najczęściej stosuje się w tym celu fenoloftaleinę. Na oczyszczonej i osuszonej powierzchni bocznej rdzenia betonowego wykonuje się tarczą szlifierską płytkie nacięcie wzdłuż tworzącej, które zwilża się 3-procentowym roztworem fenoloftaleiny w alkoholu etylowym. Zmiana koloru z bezbarwnego na fioletowy wskazuje na wzrost pH do 8,5÷9,5 (zakwaszenie). Dotyczy to głównie warstw przypowierzchniowych zarówno od strony zewnętrznej, jak i wewnętrznej (od 0 do 50 mm w zależności od wieku i stanu technicznego oraz agresywności kwaśnych kondensatów spalin). Jest to metoda, która pomimo małej dokładności daje szacunkowy pogląd na temat karbonizacji betonu.

Inna metoda to stosowanie tymoloftaleiny. W tym przypadku następuje zmiana barwy na niebieską. Ma to miejsce przy pH równym 9,3÷10,5.

Najdokładniejszą metodą jest Rainbow-Test. Napyłone odczynniki umożliwiają określenie na podstawie koloru wartości pH. Kolory: pomarańczowy, żółty, zielony, granatowy i fioletowy, określają odpowiednio wartości pH równe 5, 7, 9 i 11 [5].

Wynik jednego z powyższych testów umożliwia podjęcie decyzji o pocięciu rdzeni na „plastrowe” próbki badawcze (rys. 4), nieodzowne do przeprowadzenia laboratoryjnych badań chemicznych.



Rys. 4. Widok pociętego na próbki rdzenia betonowego

Przypowierzchniowe partie (plastry) o grubości 5÷50 mm o zmienionym odczynie (zakwaszone) przeznacza się do badań chemicznych. Do badań tych wykorzystuje się również odspojone produkty korozji betonu od strony wnętrza komina oraz gruz powstały po zgnieceniu próbek w trakcie badań wytrzymałościowych. Przykład korozji wewnętrznej powierzchni trzonu żelbetowego podano na rysunku 5.



Rys. 5. Widok skorodowanej wewnętrznej powierzchni rdzenia betonowego pobranego z żelbetowego trzonu komina

Środkowe partie rdzeni, niezdegradowane chemicznie, służą do badań nasiąkliwości, a potem są zgniatane w trakcie badań wytrzymałościowych. Można je także wykorzystać do określenia współczynnika sprężystości betonu.

5. Badania laboratoryjne próbek pobranych z rdzeni betonowych

Próbki uzyskane w wyniku pocięcia rdzeni betonowych poddawane są laboratoryjnym badaniom cech fizycznych, chemicznych i wytrzymałościowych.

Badanie cech fizycznych obejmuje określenie gęstości pozornej i nasiąkliwości. Zgodnie z normą [7], nasiąkliwość betonu narażonego na bezpośrednie działanie czynników atmosferycznych nie może być większa niż 5%, co stanowi podstawę do wstępnej oceny trwałości (jakości) betonu.

Badania wytrzymałości betonu na ściskanie przeprowadza się na próbkach ze środkowych „zdrowych” partii rdzeni. Wysokość próbek powinna być w przybliżeniu równa ich średnicy [5–7]. Najbardziej wiarygodne wyniki uzyskuje się w wypadku próbek o możliwie dużych średnicach uzyskanych przy zastosowaniu średnicy wewnętrznej wiertła równej 100±150 mm. Badania wykonuje się przy użyciu atestowanych maszyn wytrzymałościowych (pras hydraulicznych). Należy zachować równoległość ścianek czołowych poprzez odpowiednie ich zeszlifowanie. Ponadto zaleca się, aby średnica odwiertu była co najmniej trzy razy większa od średnicy największego ziarna kruszywa. Jeśli średnice próbek są mniejsze od 100 mm, to należy do obliczenia końcowej wytrzymałości zastosować współczynniki redukcyjne odnoszące się do normowej wytrzymałości „kostkowej” [5, 7].

Zgodnie z uzyskanymi doświadczeniami i przepisami normowymi [7], wycięte fragmenty zbrojenia prostopadłe do osi próbki zgniatanej nie wpływają znacząco na wynik badań. Niedopuszczalne jest natomiast zgniatanie próbek z prętami równoległymi do podłużnej osi próbki.

Próbki rdzeniowe umożliwiają także wyznaczenie wartości modułu sprężystości podłużnej betonu.

Podstawowym badaniem chemicznym jest określenie głębokości zubożenia betonu, świadczące o utracie właściwości ochronnych betonu w stosunku do stali zbrojeniowej. Jak wspomniano w rozdziale 4, szacunkowe wartości można określić w oparciu o zmianę barwy fenoloftaleiny napyłonej na powierzchnię boczną rdzeni wzdłuż ich tworzących. Szczegółowe oznaczenie pH ekstraktów wodnych można uzyskać za pomocą pehametru podczas ługowania badanego materiału wodą destylowaną pozbawioną CO₂. Przyjmuje się, że gdy pH – 11,5, beton nie chroni zbrojenia, a przy wartościach poniżej 10 obserwuje się destrukcję i daleko posuniętą korozję betonu [3].

Przykładowo, na podstawie przeprowadzonych przez autorów badań ponad 20 kominów można stwierdzić, że środkowe partie betonu wykazują pH w granicach 12,2÷12,7, od strony zewnętrznej 10,5÷12,1, od strony wewnętrznej 9,5÷11,7, odspojone fragmenty betonu od powierzchni wewnętrznej rdzenia – 4,0÷8,8, a luźne produkty korozji – 2,2÷2,9.

Coraz powszechniejsze staje się zastosowanie nowoczesnych technik badawczych, takich jak dyfraktometryczne pomiary rentgenowskie (XRD) oraz pomiary wykonane przy użyciu termicznej analizy różnicowej i termogravimetrii, które umożliwiają szczegółową ocenę składu fazowego betonu i warstw skorodowanych badanych próbek rdzeniowych, a w szczególności zawartości tlenków siarki i chlorków w betonie.

6. Podsumowanie

Jedną z najbardziej wiarygodnych metod diagnostyki znacznie zużytych żelbetowych kominów przemysłowych są badania z wykorzystaniem rdzeni betonowych, pobranych z ich trzonów nośnych za pomocą specjalnych wiertnic, zaopatrzonych w cylindryczne koronki diamentowe. Badania te umożliwiają uzyskanie dużej ilości danych dotyczących stanu technicznego komina, a to grubości ściany trzonu żelbetowego, wytrzymałości i modułu sprężystości podłużnej betonu, cech fizycznych betonu (nasiąkliwość i gęstość pozorna), składu betonu (m.in. ilość cementu), zasięgu karbonatyzacji, zawartości agresywnych związków chemicznych (szczególnie siarki i chloru) oraz średnicy zbrojenia, jego rozmieszczenia i stopnia korozji.

Uzyskane wyniki badań stanowią podstawę do dokonania statyczno-wytrzymałościowej analizy bezpieczeństwa oraz określenia ewentualnego zakresu remontu komina.

Powyższe badania, wykonywane systematycznie co 5 lat, dają możliwość oceny szybkości przebiegu destrukcyjnych procesów korozyjnych konstrukcji kominów przemysłowych.

Literatura

- [1] Barycz S., Oruba R.: *Rola i zakres rocznych i pięcioletnich okresowych przeglądów żelbetowych kominów przemysłowych*. V Konferencja Naukowo-Techniczna „Budownictwo w energetyce”, Złotniki Lubańskie 2006

-
- [2] Barycz S., Szuro Ł.: *Próba oceny wytrzymałości betonu w istniejących konstrukcjach przy wykorzystaniu wywierconych rdzeni betonowych*. Czasopismo Techniczne, r. 78, z. 9, Budownictwo, nr 5, 1974, 13–17
 - [3] Broniewski W., Ciesielski R., Fiertak M.: *Ocena stanu technicznego i prognozowanie trwałości kominów przemysłowych*. Ochrona przed Korozją, nr 1/1999
 - [4] Ciesielski R.: *Diagnostyka i ocena stanu technicznego konstrukcji inżynierskich w aspekcie zastosowanych materiałów budowlanych*. XX Konferencja Naukowo-Techniczna nt. „Awary budowlane”, Referaty problemowe, KILiW PAN, PZITB, Instytut Techniki Budowlanej, Wydział Budownictwa i Architektury Politechniki Szczecińskiej, Szczecin-Międzyzdroje 22–26 maja 2001, 171–184
 - [5] Moczko A.: *Badania odwiertów rdzeniowych w świetle aktualnych unormowań prawnych. Część 1 – pobieranie odwiertów z konstrukcji oraz badania makroskopowe*. Budownictwo Technologie Architektura, nr 1 (25), styczeń–marzec 2004, 25–27
 - [6] *Prace dotyczące badania i oceny stanu technicznego oraz określenia zakresu prac remontowych i zabezpieczających kominów przemysłowych, wykonane przez Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie, w latach 1992–2005 (prace niepublikowane)*.
 - [7] PN-EN 12504: *Badania betonu w konstrukcjach – odwierty rdzeniowe. Wycinanie, ocena i badania wytrzymałości na ściskanie*