

**XXIV**XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna
Szczecin-Międzyzdroje, 26-29 maja 2009**awarie budowlane**

Doc. dr hab. inż. MAREK LECHMAN, *m.lechman@itb.pl*
Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa

ZAGROŻENIA AWARYJNE ŻAROBETONOWYCH PRZEWODÓW KOMINÓW ŻELBETOWYCH

FAILURE WARNINGS OF HEAT-RESISTING LINERS OF REINFORCED CONCRETE CHIMNEYS

Streszczenie W okresie ostatnich 40 lat wybudowano w Polsce kilkaset kominów żelbetonowych cylindrycznych w technologii tzw. podwójnego ślizgu. Od początku kominy o tej konstrukcji wykazywały wady technologiczne i konstrukcyjne, które miały istotny wpływ na powstawanie uszkodzeń i występowanie awarii przewodów żarobetonowych, wbudowanych koncentrycznie wewnątrz trzonów tych kominów. Ze względu na zagrożenie bezpieczeństwa konstrukcji i utratę właściwości użytkowych, dużą część tych kominów wyłączono z eksploatacji. W pracy zbadano i przeanalizowano kilka eksploatowanych kominów tego typu, które uległy awarii bądź pozostawały w stanie zagrożenia awaryjnego w ostatnich kilkunastu latach. Przedstawiono program utrzymania tych obiektów, zapewniający ich dalszą warunkową eksploatację.

Abstract In the recent 40 years several hundreds of cylindrical RC chimneys have been erected in Poland. These chimneys consist of two coaxial cylinders cast in tandem: the RC shaft and the heat-resisting liner. Both cylinders are separated by an air gap or by insulation. From the very beginning, the behavior of chimneys under consideration manifested itself by the occurrence of damage and failures of heat-resisting liners. For these reasons many of them are now out of operation. In the present paper, several cylindrical chimneys in operation have been examined and analyzed due to failure or failure warning that occurred in the last few years. The maintenance program for these chimneys has been proposed to ensure their further exploitation.

1. Wprowadzenie

W okresie ostatnich 40 lat wybudowano w Polsce kilkaset kominów żelbetonowych cylindrycznych w technologii tzw. podwójnego ślizgu. Konstrukcję nośną tych kominów stanowi żelbetowy trzon o stałej grubości ścianki i wysokości nie przekraczającej na ogół 80–90 m. Wewnątrz trzonu umieszczony jest koncentrycznie samonośny przewód żarobetonowy, oddzielony od trzonu warstwą izolacji termicznej lub pustką powietrzną, pełniący funkcję przewodu spalinowego komina. Od początku kominy o tej konstrukcji wykazywały wady technologiczne i konstrukcyjne, które miały istotny wpływ na powstawanie uszkodzeń i występowanie awarii wewnętrznych przewodów żarobetonowych tych kominów. Z powodu zagrożenia bezpieczeństwa konstrukcji i utraty właściwości użytkowych, dużą część tych kominów wyłączono z eksploatacji. Zachowanie rozpatrywanych kominów opisano i analizowano w pracach wielu autorów, np. [1], [2], [3]. Bezpośredni asumpt do ponownego zajęcia się tą problematyką stanowiła awaria przewodu żarobetonowego komina żelbetowego cylindrycznego o wysokości $h = 80$ m, jaka miała miejsce w 2007 r. W prezentowanym artykule zbadano i przeanalizowano kilka przypadków nadal eksploatowanych kominów wykona-

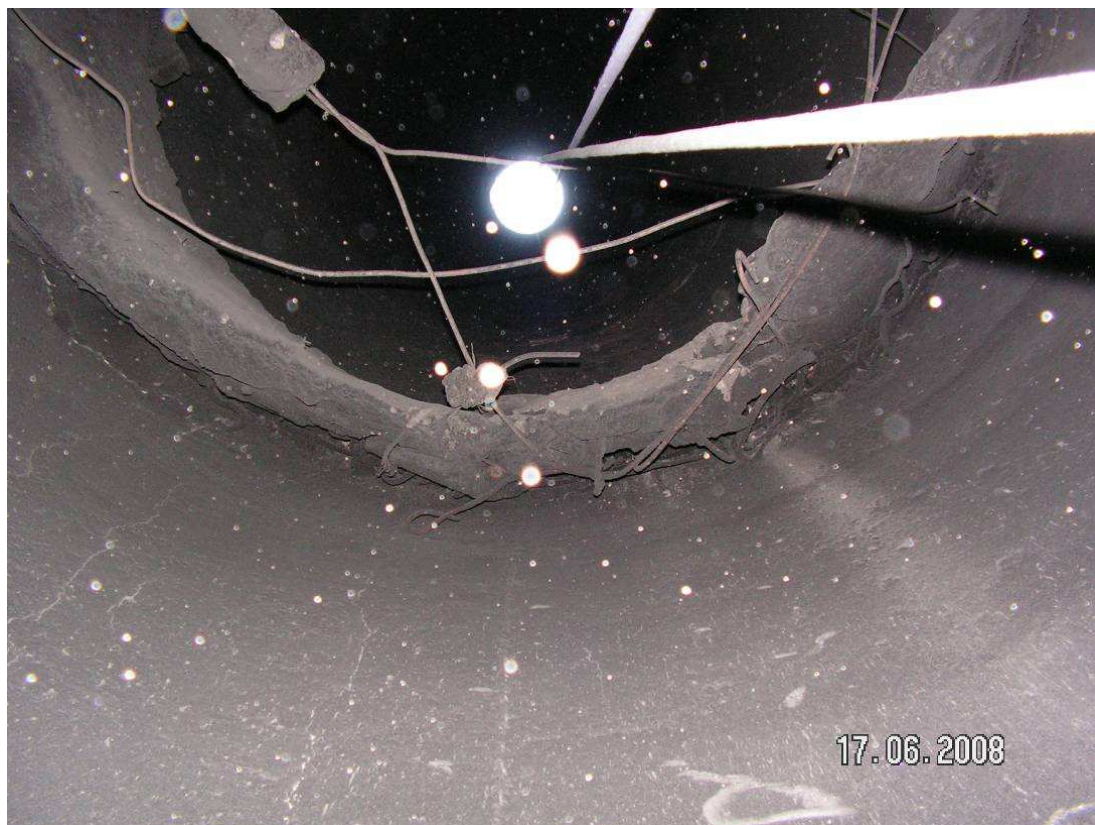
nych w tej technologii, które uległy awarii bądź pozostawały w stanie zagrożenia awaryjnego w okresie ostatnich kilku lub kilkunastu lat.

2. Awaria przewodu żarobetonowego

Komin żelbetowy o wysokości $h = 80$ m, wykonany w technologii podwójnego ślizgu, w postaci dwóch koncentrycznych powłok cylindrycznych. Średnica zewnętrzna trzonu wynosi $D_z = 3,96$ m, zaś grubość jego ścianki $0,20$ m. Grubość ścianki wewnętrznego przewodu żaroodpornego wynosi $0,14$ m, a jego średnica wewnętrzna $3,04$ m. Przestrzeń między płaszczem zewnętrznym i wewnętrznym o szerokości $0,12$ m wypełniono żużlem granulowanym. Awaria przewodu żaroodpornego wydarzyła się w 2007 r. w sposób niesygnalizowany. Jej skutkiem było obsunięcie się przewodu w stosunku do trzonu zewnętrznego o około 3 m (rys. 1). W partii wieńczącej przewodu występowały luźne fragmenty żarobetonu. W niektórych miejscach żarobeton wykazywał niską wytrzymałość mechaniczną. Między poziomem $+35$ i $+40$ m zlokalizowano miejsce wyboczenia przewodu. W miejscu tym widoczne są wygięte do wewnątrz pręty zbrojenia pionowego i poziomego, a na nich – odłamy żarobetonu. W strefie powstania uszkodzenia występują pionowe zarysowania (rys. 2). W popielniku znaleziono fragmenty betonu żaroodpornego i izolacji z żużla wielkopieczowego, który wysypał się wskutek rozszczelnienia ścianki przewodu. Na podstawie dokonanych oględzin nie stwierdzono wychylenia wewnętrznego przewodu żarobetonowego z pionu. Dokonane oględziny wykazały, że przewód żarobetonowy uległ awarii na skutek lokalnej utraty stateczności na długości około 3 m w strefie 35 – 38 m. O tyle właśnie przewód wewnętrzny uległ obniżeniu w stosunku do trzonu zewnętrznego. Mechanizm zniszczenia polegał na powstaniu załomów plastycznych na całym obwodzie w trzech równoległych poziomach powłoki żaroodpornej na odcinku około 3 m, w następstwie czego załom środkowy uległ przemieszczeniu do wewnątrz. Wskutek wzajemnego zazębienia się, poszczególne odłamy żarobetonu uległy wyłamaniu, zaś pręty zbrojeniowe wyboczeniu do wewnątrz. Towarzyszyło temu wypadanie fragmentów żarobetonu oraz wysypywanie się izolacji z żużla wielkopieczowego. Sytuację tę potwierdziły wyniki pomiarów termowizyjnych, które wskazywały na podwyższenie temperatury na powierzchni trzonu wskutek uszkodzeń izolacji i żarobetonu na poziomie około 35 – 38 m. Oprócz uszkodzeń przewodu żarobetonowego, stwierdzono występowanie licznych spękań żelbetowego trzonu komina zarówno w kierunku pionowym, jak i poziomym. Rysy pionowe zlokalizowano głównie w dolnej części komina w strefie otworów wlotowych oraz w części górnej, pozbawionej osłony termicznej. Ocenia się, iż w stanie istniejącym utrzymuje się nadal zagrożenie miejscowej utraty stateczności wewnętrznego przewodu żarobetonowego, z powodu postępu procesu korozji chemicznej i degradacji wytrzymałościowej żarobetonu. Prognozowanie zachowania się przewodu żarobetonowego w czasie jest zadaniem trudnym. Lokalna utrata stateczności objawia się bowiem nagłym „tąpnięciem” przewodu, przy czym wyboczenie to niekoniecznie musi wystąpić w tym samym przekroju. Poawaryjna naprawa przewodu żaroodpornego jest przedsięwzięciem bardzo niebezpiecznym i wysoce ryzykownym. Dla jej przeprowadzenia konieczne jest prowadzenie pomiarów osiadań przewodu wewnętrznego względem korony komina w dłuższym okresie czasu. Jeżeli proces tych osiadań wskazuje na stabilizację, można przystąpić do prac naprawczych pod warunkiem, że są one prowadzone w sposób całkowicie bezwstrząsowy i przy ciągłej kontroli przemieszczeń pionowych przewodu. Naprawa polegałaby na uzupełnieniu zbrojenia i żarobetonu, co powinno powstrzymać proces dalszego osiadania. W zaistniałej sytuacji zalecono podjęcie prac projektowych celem wybudowania nowego komina. Do tego czasu zaproponowano monitorowanie osiadań przewodu względem korony komina.



Rys. 1. Obsunięcie się przewodu żarobetonowego względem trzonu żelbetowego o 3 m, w wyniku lokalnej utraty stateczności powłoki przewodu



Rys. 2. Postać miejscowej utraty stateczności przewodu żaroodpornego w poziomie około +35 m

3. Eksploatacja komina po poawaryjnej naprawie przewodu żaroodpornego

Komin $h = 80$ m, wykonany w konstrukcji żelbetowej metodą podwójnego ślizgu. Średnica zewnętrzna komina do wysokości $+10,70$ m wynosi $d_z = 4,70$ m przy grubości płaszczu zewnętrznego wynoszącej $0,62$ m. Powyżej poziomu $+10,70$ m średnica zewnętrzna płaszczu zewnętrznego wynosi $d_z = 3,96$ m, a jego grubość jest równa $0,25$ m. Płaszcz wewnętrzny zaprojektowano jako cylindryczny, wolnostojący, wykonany z betonu żaroodpornego. Grubość ściany płaszczu wewnętrznego wynosi $0,14$ m, a średnica $2,94$ m. Przestrzeń między płaszczem zewnętrznym i wewnętrznym o szerokości $0,12$ m wypełniono zgodnie z projektem żużłem granulowanym wielkopieczowym powyżej rzędnej $+11$ m oraz cegłą termalitową poniżej tej rzędnej. Ściana komina była osłabiona dwoma otworami wlotowymi spalin powyżej rzędnej $+4,50$ m. W 1987 r. wykonano dodatkowy otwór wlotowy między rzędnymi $+7,60$ i $+9,80$ m, usytuowany nad jednym z niższych otworów wlotowych. Krawędzie otworu nie zostały odpowiednio wzmocnione i zabezpieczone zarówno w trzonie jak i płaszczu wewnętrznym, jak przewidywał projekt. Na jesieni 1990 r. miała miejsce awaria płaszczu żarobetonowego na wysokości $+10,0$ m, połączona z wysypianiem się około 18 m^3 izolacji żużlowej. Skutkiem tego było obniżenie się płaszczu żarobetonowego o około $1,2$ – $1,3$ m oraz jego wychylenie z pionu o $0,075$ m (rys. 3). Zgodnie z zaleceniami wykonanej ekspertyzy płaszcz żarobetonowy komina został wzmocniony w 1993 r. od poziomu posadowienia do poziomu $+13$ m za pomocą powłoki z betonu żaroodpornego o grubości $0,14$ m (rys. 4). Wraz z płaszczem wzmacniającym, zbrojonym podwójną siatką zbrojenia, wykonano monolityczną ścianę działową – przeponę, po rozebraniu starej uszkodzonej. Komin jest eksploatowany do dnia dzisiejszego. Przeprowadzone w 2008 r. badania techniczne komina wykazały, że nie nastąpiło dalsze obniżenie żarobetonowego płaszczu względem korony komina. W górnej części przestrzeni pomiędzy obydwooma płaszczami stwierdzono brak materiału izolacyjnego w postaci żużla wielkopieczowego. Lokalnie występują ubytki i spęczenia żarobetonu, odsłonięte, wyboczone pręty zbrojenia pionowego, poziome rysy w miejscach styków warstw betonu. Liczba takich miejsc wzrasta w części przewodu poniżej wysokości 40 m. Na poziomie $+13$ m (górny poziom wewnętrznego płaszczu wzmacniającego) widoczne są lokalne ubytki żarobetonu i odsłonięte wygięte pręty zbrojenia. Aktualny stan powłoki wzmacniającej żarobetonowy przewód od wewnątrz ocenia się jako zadawalający, podobnie jak i połączonej z nią monolitycznie przepony (rys. 4). Podczas dokonywania wyczystki nie natrafiono wewnątrz przewodu komina na fragmenty wykruszonego żarobetonu. Oprócz uszkodzeń przewodu występują pęknięcia przelotowe w górnej części trzonu, liczne odpryski i ubytki betonu oraz rysy pionowe i poziome na powierzchni płaszczu zewnętrznego komina. Na podstawie wyników wykonanych ocen i ekspertyz w okresie 1992–2008 można stwierdzić, że zachowanie się żarobetonowego przewodu komina wykazuje pewną stabilizację. Nie oznacza to jednakże, iż całkowicie znikło zagrożenie lokalnej utraty stateczności przewodu żarobetonowego. Zagrożenie takie utrzymuje się z powodu postępu procesu korozji chemicznej i degradacji wytrzymałościowej żarobetonu. Prognozowanie zachowania się przewodu żarobetonowego w czasie jest obarczone dużą niepewnością, ponieważ lokalna utrata stateczności objawia się nagłym „tąpnięciem”, które może wystąpić w dowolnym przekroju przewodu. W związku z bezpośrednim oddziaływaniem gazów na górny odcinek trzonu i brakami materiału izolacyjnego, zalecono nadbudowanie obniżonego przewodu żarobetonowego cegłą klinkierową wraz z przyklejeniem do wewnętrznej powierzchni trzonu bloków szkła piankowego czarnego (po oczyszczeniu wewnętrznej powierzchni trzonu). W aktualnym stanie nawet przeprowadzenie kompleksowych napraw nie zapewni trwałości komina w długim okresie czasu, z uwagi na zagrożenie wystąpienia awarii przewodu żaroodpornego, uszkodzenia trzonu żelbetowego i braki izolacji.



Rys. 3. Obniżenie się przewodu żaroodpornego względem trzonu o około 1,3 m w wyniku utraty stateczności miejscowej płaszczka



Rys. 4. Wzmocnienie uszkodzonego przewodu żarobetonowego w strefie otworów wlotowych za pomocą powłoki z betonu żaroodpornego

4. Zagrożenie awarią przewodu żaroodpornego

Komin o wysokości $h = 112$ m został wykonany w konstrukcji żelbetowej metodą podwójnego ślizgu. Średnica zewnętrzna płaszczu zewnętrznego (trzonu) wynosi $D_z = 5,50$ m przy grubości ścianki $0,25$ m. Płaszcz wewnętrzny zaprojektowano jako cylindryczny, wolnostojący, wykonany z betonu żaroodpornego. Grubość ściany płaszczu wewnętrznego (przewodu żarobetonowego) wynosi $0,25$ m, a średnica zewnętrzna jest równa $3,50$ m. Przestrzeń pomiędzy płaszczem zewnętrznym i wewnętrznym stanowi przegroda powietrzna o grubości $0,75$ m. Trzon komina został wzmocniony za pomocą konstrukcji wsporczej stalowo-żelbetowej w postaci trójnoga. Komin został włączony do eksploatacji w 1978 r. W grudniu 2002 r. wystąpiły rdzawe zacieki na zewnętrznej powierzchni trzonu żelbetowego w dolnej części komina. Przy bardzo niskich temperaturach zewnętrznych panujących w tym okresie wystąpiło oblodzenie wewnętrznej powierzchni trzonu do wysokości około 30 m. Powyższe objawy mogły świadczyć o możliwości przenikania spalin w dolnej części komina przez nieszczelny płaszcz żarobetonowy do przestrzeni pomiędzy obydwojema płaszczami i ich wykraplanie się na chłodniejszej wewnętrznej powierzchni trzonu. Teza ta została wykazana później po przeprowadzeniu bezpośrednich oględzin przewodu. Agresywny względem betonu i zbrojenia kondensat przesiąkał poprzez spękania trzonu, co objawiało się występującymi na jego zewnętrznej powierzchni rdzawymi zaciekami. Częściowe wyjaśnienie tego problemu uzyskano na podstawie analizy parametrów przepływu spalin w rozpatrywanym okresie, z której wynikało, że temperatura spalin w przewodzie spadała poniżej 90 °C, a ich prędkość wynosiła około 3 m/s. Wartość ta była zbyt mała dla uzyskania wystarczającej wysokości termicznego wyniesienia spalin, zwłaszcza przy większych prędkościach wiatru. Powyższe warunki umożliwiły dyfuzję gazów przez ścianę przewodu. Na podstawie przeprowadzonych w 2004 r. badań technicznych komina stwierdzono występowanie uszkodzeń przewodu żarobetonowego w postaci ubytków, wykruszeń i odspojeń żarobetonu, odsłonięcia i korozji zbrojenia, rys pionowych oraz poziomych rozwarstwień. Powyższe objawy występowały w większym stopniu na powierzchni wewnętrznej przewodu, w mniejszym zaś na jego powierzchni zewnętrznej. Żarobetonowy przewód dymowy wykazywał ponadto wychylenie z pionu, które w poziomie wylotu komina wynosiło około $0,75$ m. W dolnej części przewodu od strony wewnętrznej nad otworem wlotowym stwierdzono objawy zaawansowanej korozji, a nawet całkowitej destrukcji żarobetonu (rys. 5). Oznaki degradacji korozyjnej zaobserwowano również na zewnętrznej powierzchni tego odcinka przewodu, co świadczyło o perforacji płaszczu żarobetonowego (rys. 6). Potwierdzeniem tego były wyniki badań laboratoryjnych, które wykazały bardzo wysoką 80% zawartość siarczanów, nadmierne skażenie chlorkami oraz bardzo niski wskaźnik pH ($4,4$) w pobranych próbkach żarobetonu. Wysoką zawartość siarczanów stwierdzono również w próbce betonu pobranej z wewnętrznej powierzchni płaszczu zewnętrznego (trzonu) na tej samej wysokości. Wysokie zawartości siarczanów i niski odczyn pH świadczyły o zaawansowanym procesie korozji siarczanowej żarobetonu przewodu i betonu trzonu oraz o ich niedostatecznych właściwościach ochronnych w stosunku do zbrojenia. Wystąpiły ponadto objawy daleko posuniętej degradacji wytrzymałościowej żarobetonu. Stan ten stwarzał duże zagrożenie lokalnej utraty stateczności przewodu żarobetonowego. Znaczny stopień destrukcji i wysokie skażenie agresywnymi jonami siarczanowymi żarobetonu wykluczało możliwość skutecznej sanacji lub wzmocnienia przewodu komina. Biorąc pod uwagę powyższe przesłanki podjęto decyzję o rozbiórce komina i budowie nowego. Do czasu definitywnego wyłączenia z eksploatacji, zalecono monitorowanie stanu komina, obejmujące prowadzenie obserwacji wizualnych, wykonywanie pomiarów geodezyjnych pionowości i osiadań raz na kwartał oraz badania fizykochemiczne próbek betonu trzonu. W 2005 r. komin został wyburzony, a na jego fundamencie posadowiono nowy komin żelbetowy cylindryczny o wysokości $h = 80$ m.



Rys. 5. Degradacja żarobetonu na wewnętrznej powierzchni przewodu



Rys. 6. Uszkodzenia korozyjne żarobetonu na zewnętrznej powierzchni przewodu

5. Podsumowanie

Awarye przewodów żarobetonowych kominów żelbetowych mogą pociągać za sobą poważne skutki społeczne i ekonomiczne, wyrażające się np. nagłym przerwaniem dostaw ciepła dla społeczności lokalnych. Sytuacja taka ma miejsce wówczas, gdy wskutek awarii przewodu żarobetonowego zostaje naruszona konstrukcja nośna komina (trzon żelbetowy), czego konsekwencją jest nagłe i definitywne wyłączenie komina z eksploatacji. Z uwagi na to, że w żadnym z analizowanych przypadków żelbetowy trzon nośny nie został naruszony, podjęto działania zmierzające do utrzymania rozpatrywanych kominów.

Naprawa lub wzmocnienie zagrożonych awarią żarobetonowych przewodów kominów żelbetowych jest zadaniem trudnym i technicznie odpowiedzialnym. Po wystąpieniu awarii zagrożenie lokalnej utraty stateczności przewodu utrzymuje się nadal, z powodu postępującego procesu korozji chemicznej i degradacji wytrzymałościowej żarobetonu. Prognozowanie zachowania się przewodu żarobetonowego w czasie jest obarczone dużą niepewnością, ponieważ utrata stateczności miejscowej objawia się nagłym „tąpnięciem”, które może wystąpić w dowolnym przekroju przewodu. Należy zwrócić uwagę, że naprawa poawaryjna przewodów żarobetonowych nie daje pełnej gwarancji skuteczności, z uwagi na możliwość wystąpienia wyboczenia w innej strefie przewodu, stan samego trzonu nośnego oraz niedostateczną izolacyjność termiczną. Warunkiem koniecznym użytkowania komina zagrożonego awarią przewodu żarobetonowego powinno być stałe monitorowanie jego zachowania. Komin taki może być eksploatowany tylko tymczasowo, do czasu wybudowania nowego komina. Stosując opisane podejście udało się przedłużyć okres użytkowania części zagrożonych awarią kominów nawet o kilkanaście lat.

Literatura

1. Ciesielski R., Krupiński J.: Uszkodzenia i awarye żelbetowych kominów cylindrycznych wykonywanych w podwójnym ślizgu, VIII Sympozjum na temat „Badanie Przyczyn i Zapobieganie Awariom Konstrukcji Budowlanych, Szczecin, 17–18 VI 1986 r.
2. Runkiewicz L., Lewiński P.: Przyczyny powstawania i sposoby usuwania zagrożeń kominów żelbetowych, *Przegląd Budowlany*, 2/93.
3. Lechman M., Lewiński P.: Unexpected behavior of some RC chimneys in Polish heat-generating plants, *CICIND Report*, vol. 11, No. 2, September 1995.