

# Modernizacja XIX-w. komina przemysłowego

Dr hab. inż. Tomasz Błaszczyński, Politechnika Poznańska

## 1. Wprowadzenie

Wysoka temperatura, wpływy atmosferyczne oraz agresywne środowisko stanowią zespół czynników, którym nie jest w stanie oprzeć się żaden z obecnie stosowanych konstrukcyjnych materiałów budowlanych. Powszechnie uważa się, że właśnie dobrze wypalona cegła stanowi najtrwalszy, a jednocześnie najmniej kłopotliwy podczas eksploatacji materiał, ponieważ nawet bez stosowania specjalnych powłok ochronnych posiada wysoką odporność na niekorzystne wpływy środowiska. Jednak słabym ogniwem konstrukcji murowych jest zaprawa łącząca poszczególne cegły, która charakteryzuje się znacznie niższą odpornością na wpływy agresywnych środowisk. Niestety większość zabytkowych kominów ceramicznych została już wyłączona z eksploatacji, co jeszcze bardziej pogarsza warunki, w których się znajdują. Oprócz korozji chemicznej, zwłaszcza w wyższych strefach komina, występuje również mechaniczne niszczenie konstrukcji murowej spowodowane zamrażaniem wody w występujących pęknięciach i szczelinach. W ten sposób następuje osłabienie połączeń poszczególnych cegieł w trzonie komina, które w końcowej fazie mogą stanowić luźno ułożony stos. Takie właśnie obiekty coraz częściej wykorzystywane są na maszty do podwieszenia anten różnych telefonii komórkowych. Często bez odpowiedniej oceny ich stanu technicznego. Z przypadkiem analizy zabytkowego komina wraz z oceną wielkości wpływu na jego stan techniczny i nośność zamocowanych i planowanych do zamocowania anten różnych telefonii komórkowych, mamy do czynienia w niniejszym artykule.

Analizowany obiekt jest kominem murowanym wolnostojącym o wysokości 75 m, zlokalizowanym na terenie Starej Gazowni w Poznaniu.

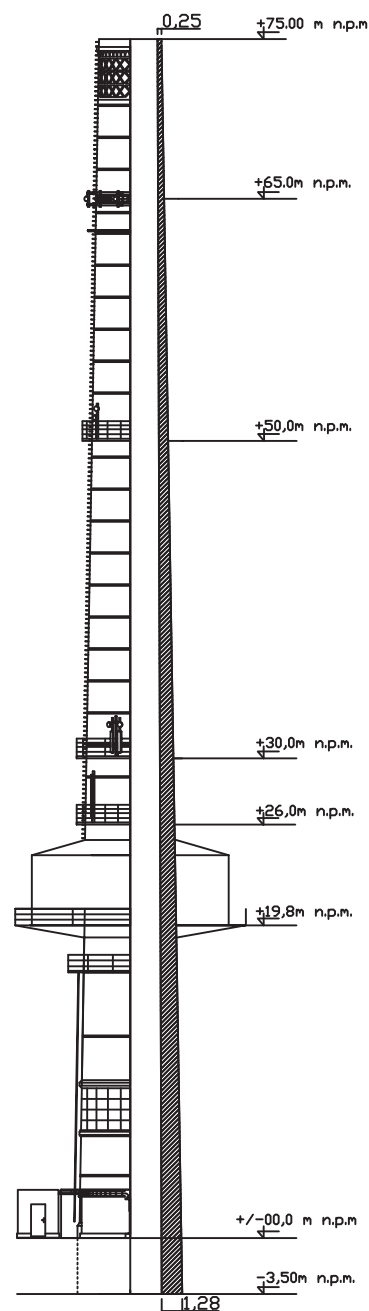
Według dokonanych ocen zastosowanych materiałów i technologii realizacji komina wzniesiony został on prawdopodobnie na przełomie wieków. Zgodnie z informacjami właściciela komina, prace nad realizacją obiektu zakończono najprawdopodobniej w 1901 roku. Analizowany komin nie jest już czynny od lat 80. XX w. Poprzednio służył do odprowadzania gazów spalinowych z zabytkowej kotłowni zakładowej, która obsługiwała również wiele obiektów znajdujących się w centrum miasta Poznania (rys. 1a).

Wierzch płyty fundamentowej, a tym samym spód czopucha znajduje się 3,5 m ppt. Czopuch wykonano o świetle wewnętrznym 2 x 2,5 m. Komin wykonano z cegły kształtowej zwanej



kminówką. W części dolnej, do pierwszego gzymsu licowany jest cegłą licową, powyżej wykonany tylko na bazie zwykłej cegły kominówki.

Kominowi nadano przekrój pierścieniowy oraz stałe nachylenie poboczniczy do pionu. Wykonano stałą zbież-



Rys. 1. Analizowany komin: a) stan istniejący, b) stan projektowany



Rys. 2–4. Stan techniczny płaszczka komina od zewnątrz

ność promienia zewnętrznego komina na odcinku od +20,0 m do głowicy, wynoszącą około 1,5%. Dolna część komina ma mniejszą zbieżność (około 0,7%), natomiast znajdują się na niej zewnętrzne odsadzki. W związku z tym, zewnętrzna średnica wylotu komina wynosi 3,9 m (co wypełnia wymogi p. 7.1.1. normy [1]), a teoretyczna zewnętrzna średnica u podstawy wynosi 6,45 m. Charakterystyczna dla analizowanego komina jest mała zmiana średnicy wewnętrznej na jego wysokości, tj. u podstawy wynosi ona 3,9 m, a u wylotu 3,4 m, czyli zmiana średnicy na wysokości 75 + 3,5 m wynosi tylko 0,5 m. Prowadzi to do otrzymania zbieżności właściwie tylko zmianą grubości ściany zewnętrznej komina, przez co w poziomie płyty fundamentowej wynosi ona 1,28 m, a u wylotu tylko 0,25 m (rys. 1b). Tego typu rozwiązanie konstrukcyjne stosowane było szeroko do XIX w. Grubości spoin pionowych i poziomych wahały się w granicach od 10 do 15 mm, co wypełnia wymogi p. 7.1.2. normy [1]. Górny odcinek trzonu komina ukształtowano w postaci ozdobnej głowicy.

Na całym obwodzie komina, między poziomami +20,0 m i +25,0 m npt, zainstalowano pierścieniowy zbiornik wodny, wykonany jako stalowy nitowany. Obecnie zbiornik jest również nieczynny. Na poziomie +18,30 m (pod zbiornikiem) zlokalizowana jest galeria. Podobna galeria znajduje się wokół zbiornika na poziomie +21,30 m (rys. 1a, b). Niestety ze względu na stan techniczny została ostatnio częściowo zdemontowana (usunięto wszystkie blachy pomostowe). Stan techniczny

zbiornika wskazuje na natychmiastowy remont lub przebudowę.

Stan techniczny komina, zarówno cegły, jak i zaprawy, w poziomie od 0,0 m npt do około 20,0 m npt jest dobry. W tej strefie nie występują ani zarysowania ani pęknięcia cegieł, a jedynie lokalne braki zaprawy (rys. 2). W podobnym stanie jest płaszcz komina w poziomie pod zbiornikiem na wodę. W bardzo dobrym stanie znajduje się natomiast strefa pierwszego ozdobnego gzymsu. Powyżej zbiornika również cegły nie wykazują znaczących oznak korozji, jednak znajdują się miejsca braku zaprawy lub miejsca występowania zaprawy silnie skorodowanej (rys. 3). Pomimo zakończenia eksploatacji i znacznej grubości ścian komina (zwłaszcza w jego dolnej strefie), nie zauważono żadnych nowych zarysowań również w wyższych partiach. W trakcie bieżących remontów wszystkie powstałe wcześniej uszkodzenia zostały wcześniej wypełnione zaprawą cementową (rys. 4). W miejscu, gdzie stężenie zanieczyszczeń oraz agresywnych kwasów jest największe, czyli w strefie głowicy komina, następuje najintensywniejsze niszczenie materiału. Wydobywające się związki siarki osiadają na występkach i uszkodzeniach głowicy powodując jej dalszą degradację. Zanieczyszczenia te poddane działaniu wody opadowej tworzą roztwory agresywnych kwasów, posiadających zdolność rozkładania związków wapnia występujących w zaprawie muru. Postępująca korozja zaprawy objawia się jej pęcznieniem, pękaniem i stopniowym wykruszaniem. Niskie naciski statyczne,

jakie występują w górnej części komina, umożliwiają łatwiejszą penetrację roztworów w głąb muru. Stąd głowica komina osiągnęła w roku 1996 niebezpieczny stan awaryjny i musiała być rozebrana oraz ponownie u wylotu przemurowana (rys. 5).

W znacznie gorszym stanie znajduje się analizowany komin od wewnątrz. Nie tylko jakość jego wykonania jest znacznie gorsza, ale także i stan techniczny jest wyjątkowo niezadowolający. Objawia się to silnym skorodowaniem cegieł i efektami tuszczenia oraz odpadaniem całych fragmentów. Szczególnie jest to widoczne w dolnej części komina (rys. 6). W podobnym stanie znajduje się także w części wewnętrznej zaprawa, która – jeżeli



Rys. 5. Głowica komina



Rys. 6–7. Stan techniczny muru wewnątrz komina



Rys. 8–9. Badanie cegieł kominowych pobranych z analizowanego komina

jeszcze nie wykruszyła się – to można ją bez trudu wydostać, w postaci proszku. Stwierdzono całkowite skorodowanie zaprawy na głębokości kilkunastu centymetrów. W podobnym stanie znajduje się wewnętrzna powierzchnia komina w wyższej strefie, gdzie dochodzi do złuszczenia się cegieł na głębokość aż do 7 cm. W najlepszym stanie, choć nie zadowalającym, znajduje się wewnętrzna powierzchnia na samym wierzchołku komina, choć i tutaj stwierdzono ślady złuszczenia się cegieł (rys. 7).

## 2. Przeprowadzone badania

W ramach badań określono cechy techniczne elementów składowych muru (cegły i zaprawy) oraz wychylenie osi trzonu komina z pionu. W trakcie wizji lokalnej z dolnych poziomów komina pobrano próbki cegieł do badania na wytrzymałość. Badania cegieł kominowych przeprowadzono zgodnie z normami [2 i 3] – rys. 8, 9.

W wyniku przeprowadzonych badań oceniono, że analizowane cegły są klasy około 20 MPa (wytrzymałość

średnia 20,5 MPa). Zaprawę oceniono metodą makroskopową w stanie in situ oraz przeprowadzono niezbędne testy chemiczne. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że od wewnątrz komina zaprawa ma wytrzymałość 0 MPa, a na zewnątrz 12 MPa. W związku z tym, do dalszych analiz przyjęto wartość wynikową, która jest średnią ważoną dla całej powierzchni 5 MPa.

W ramach pomiarów oceniono również geodezyjnie wychylenie osi trzonu komina z pionu. Pomiary przeprowadzono z 3 stanowisk (tych samych, które zastosował właściciel w 1996 r.). W wyniku pomiarów otrzymano, że trwałe wychylenie wierzchołka komina z pionu waha się w granicach 16 cm i należy je uznać za nieduże. Porównano także otrzymane wyniki z udośćnionymi przez właściciela wynikami z roku 1996. W okresie od 1996 do 2002 r. zmianie uległy dwa kierunki: jeden o około 22%, a drugi o około 8%, trzeci kierunek nie uległ zmianie. Ciekawostką jest to, że wynikowe wychylenie jest w kierunku zachodnio-północnym, gdy wiadomo, że na tym

terenie procentowo najwięcej jest wiatrów zachodnich (>80%), a najsilniejsze są wiatry północne.

## 3. Analiza statyczno-wytrzymałościowa komina

W celu oceny możliwości zainstalowania nowych anten radioliniowych i oceny ich wpływu na stan techniczny komina wykonano niezbędną analizę statyczno-wytrzymałościową. Wszystkie obliczenia przeprowadzono zgodnie z [1]. Obliczenia wykonano zarówno dla stanu istniejącego, jak i dla stanu nowoprojektowanego, zakładając uprzednie wykonanie wszystkich zalecanych prac naprawczo-modernizacyjnych. W obliczeniach oprócz ciężaru własnego i obciążenia wiatrem, uwzględniono również istniejący zbiornik na wodę, wszystkie pomosty, istniejące i nowoprojektowane anteny radioliniowe wraz z pomostami oraz wpływy II rzędu.

Wzrost obciążeń komina po zainstalowaniu dodatkowych elementów powoduje zwiększenie mimośrodowo wypadkowej oraz poziomego naprężeń w przekrojach komina. W tabeli 1 wyznaczono poziom naprężeń w charakterystycznych przekrojach dla wariantu nowoprojektowanego, a uzyskane wartości porównano z poziomem dopuszczalnym dla muru z cegły klasy 20 MPa na zaprawie marki 5 MPa.

Z zestawienia w tabeli 1 wynika, że po instalacji dodatkowych pomostów i anten, maksymalny poziom naprężeń w przekrojach komina wzrośnie nie więcej niż 3%, natomiast maksymalne wyężenie murowanego trzonu komina wystąpi na wysokości + 1,00 m i wyniesie 99% wartości dopuszczalnej dla muru z cegły 20 MPa na zaprawie 5 MPa. Po zainstalowaniu dodatkowych anten, również sprężyste wychylenie wierzchołka komina nie przekroczy wartości dopuszczalnej wg [3].

## 4. Proponowany zakres prac modernizacyjno-naprawczych

W wyniku postępującego procesu korozyjnego komina, zachodzi po-

**Tabela 1.** Naprężenia w przekrojach komina – po instalacji dodatkowych pomostów i anten

Segment	Rzędna podstawy segmentu [m]	$e_i / R$	$r / R$	A	$F_i$ [m <sup>2</sup> ]	$\sigma_0 = N_i / F_i$ [MPa]	$\sigma_m = A \times s_0$ [MPa]	$S_{dop}$ [MPa]
1	70,00	0,163	0,877	1,386	2,98	0,093	0,129	1,229
2	65,00	0,269	0,852	1,622	3,79	0,169	0,274	1,257
3	60,00	0,354	0,834	1,833	4,51	0,235	0,431	1,286
4	55,00	0,411	0,818	1,988	5,27	0,295	0,586	1,315
5	50,00	0,447	0,802	2,091	6,06	0,352	0,736	1,343
6	45,00	0,476	0,788	2,201	6,87	0,403	0,887	1,372
7	40,00	0,491	0,770	2,267	7,84	0,447	1,013	1,401
8	35,00	0,498	0,757	2,322	8,73	0,495	1,149	1,429
9	30,00	0,497	0,745	2,337	9,64	0,543	1,269	1,458
10	25,00	0,493	0,733	2,342	10,59	0,589	1,379	1,487
11	20,00	0,488	0,719	2,345	11,69	0,627	1,470	1,515
12	15,00	0,445	0,684	2,239	14,49	0,613	1,373	1,544
13	11,00	0,440	0,670	2,244	15,27	0,658	1,477	1,567
14	6,00	0,419	0,641	2,214	17,38	0,672	1,488	1,596
15	1,00	0,407	0,629	2,188	18,24	0,735	1,608	1,624
16	-3,50	0,378	0,606	2,123	20,99	0,724	1,537	1,650

trzeba jego zabezpieczenia przed dalszym procesem korozyjnym oraz podniesienia jego trwałości. Prace ukierunkowano na wymianę spoin, oczyszczenie ze skorodowanej i łuszczącej się cegły oraz na neutralizację soli i zabezpieczenie przeciwwilgociowe, jednak o stosunkowo dużej paroprzepuszczalności. Istniejące w strukturze muru sole oraz oddziaływująca wilgoć stanowi zagrożenie dla trwałości obiektu, powodując w nim silnie postępującą korozję. W celu podniesienia trwałości komina zaproponowano nowoczesny system zabezpieczeń. W związku z finansowymi możliwościami inwestora, prace naprawcze podzielono na 3 etapy: 1 etap – prace wewnętrzne, 2 etap – prace zewnętrzne i 3 etap – zbiornik. Prace wewnętrzne (Etap 1) należy rozpocząć od prac czyszczących. W tym celu należy usunąć odpadające fragmenty muru i metodą strumieniowo-cierną, poprzez piaskowanie, oczyścić całą łuszczącą się powierzchnię, pozostałości i ewentualny popiół z czopucha także usunąć. Następnie usunąć skorodowane spoiny na głębokość skorodowania, tj. do około 10–12 cm, wraz z ich wypełnieniem zaprawą trasowo-cementową. Kolejnym etapem prac byłoby niezbędne przeprowadzenie neutralizacji soli produktem fluatyzacyjnym (np.: ESCO-FLUAT). W celu zabezpieczenia przeciwwilgociowego i umożli-

liwienia swobodnej dyfuzji pary wodnej oraz naturalnego usuwania jej nadmiaru ze struktury muru, należy tak przygotowaną powierzchnię zizolować parodyfuzyjnym preparatem polimerowo-cementowym (np. 2 x Aquafin – 2K). Prace zewnętrzne części murowej komina (Etap 2) zaplanowano rozpocząć od oczyszczenia poprzez mycie podciśnieniowe i przeprowadzenia neutralizacji soli od zewnątrz. Następnie przyjęto usunięcie skorodowanych spoin na głębokość skorodowania i wypełnienie ich zaprawą renowacyjną spełniającą wytyczne WTA (np. TERMO-PAL). Tak przygotowane podłoże (tj. zewnętrzną powierzchnię płaszcza komina) zaproponowano zabezpieczyć przeciwwilgociowo poprzez hydrofobizację parodyfuzyjną bezbarwnym preparatem na bazie siloksanów oligomerycznych (np. ASOLIN-WS). Prace związane ze zbiornikiem (Etap 3) zaproponowano w dwóch wariantach. Jako najrozsądniejsze zaproponowano rozebrać skorodowany zbiornik. Wskazuje na to stopień jego znacznego zniszczenia oraz niemożność jego przyszłego wykorzystania jako zbiornika na wodę. W wariantcie drugim, przy założeniu zmniejszenia obciążeń użytkowo-technologicznych i naprawie konserwatorskiej elementów kształtowych z ich równoczesnym zabezpieczeniem przeciwkorozyjnym oraz po wprowadzeniu

części nowych elementów nośnych, można by rozważyć wprowadzenie nowej funkcji użytkowej.

#### 4. Podsumowanie

Podsumowując można stwierdzić, że jedynie bezpieczna XIX-wieczna konstrukcja analizowanego komina spowodowała, że nadal spełnia on wymagania zawarte w [1]. Jednakże trzeba wziąć pod uwagę, że nieprzeprowadzenie proponowanych prac modernizacyjnych może spowodować już stan awaryjny. Jak widać z kierunku wygięcia osi komina (przeciwne niż kierunek maksymalnych obciążeń poziomych), a także z całkowitego wykorzystania jego nośności (tab. 1) oraz znacznego spadku wytrzymałości materiałów składowych w ostatnim okresie, o jego trwałości decydować będzie poprawnie wykonana jego modernizacja. Warto również podkreślić, że dodatkowe obciążenie infrastrukturą radioliniową, w przypadku zabytkowych kominów XIX-wiecznych nie stanowi problemu, a jej wpływ jest nieznaczny.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-88/B-03004. Kominny murowane i żelbetowe. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [2] PN-70/B-12016. Wyroby ceramiki budowlanej. Badania techniczne
- [3] PN-B-12004:1999. Wyroby budowlane ceramiczne. Cegły kominowe