

JAN KOZICKI

Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska
Politechniki Łódzkiej
Katedra Budownictwa Betonowego

MUROWANY KOMIN PIERWSZEJ ŁÓDZKIEJ ELEKTROWNI

Opiniodawca: **mgr inż. arch. Wojciech Szygendowski**

Przedstawiona została konstrukcja i obecny stan techniczny jednego z pierwszych łódzkich murowanych kominów. Jest to wybudowany w 1906 r. komin o wysokości 63,50 m ponad otaczający teren, stanowiący element kotłowni Elektrowni Łódzkiej. W wyniku prawie stuletniej eksploatacji i kilkunastoletniego wyłączenia z użytkowania, komin uległ degradacji. W artykule zanalizowano stan istniejącego komina, przedstawiono wyniki badań wytrzymałościowych, geodezyjnych i geotechnicznych oraz oceniono jego nośność z uwzględnieniem obowiązujących obecnie norm.

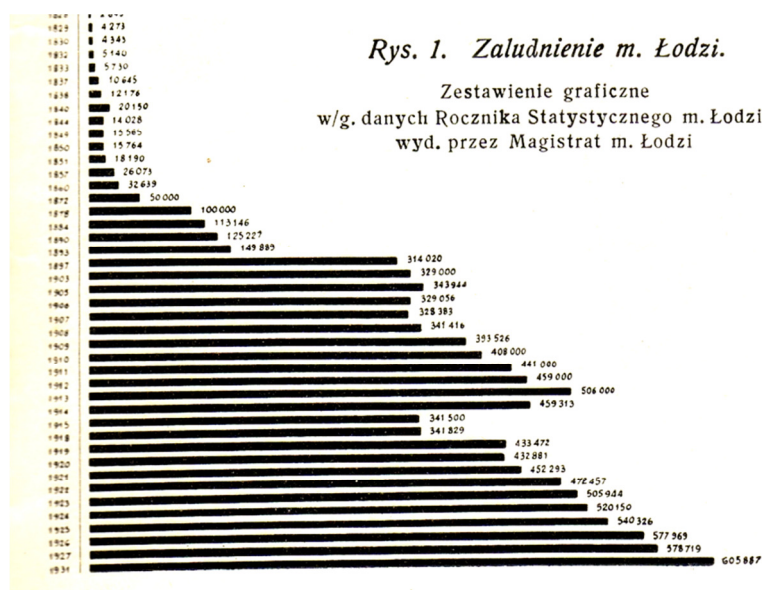
1. Wstęp

W roku 1932 Miasto Łódź było siedzibą największej po Łaziskach Górnych i Chorzowie, siedzibą elektrowni w Polsce [1]. Tak stosunkowo szybki rozwój elektrowni powiązany był z rozwojem gospodarczym Łodzi. Przed rozbiorem Łódź istniała jako małe miasteczko rolnicze. Pierwsza lustracja dokonana przez władze pruskie w roku 1793, wykazała 190 mieszkańców. Dopiero za czasów Królestwa Kongresowego, potrzeba stworzenia przemysłu włókienniczego doprowadziła do osiedlenia się tkaczy głównie z terenu obecnych Niemiec i rozwoju osadnictwa w okolicach okręgu przemysłowego łódzkiego. W szybkim tempie wzrastała liczba ludności, osiągając w roku 1913 ponad pół miliona. Tempo rozwoju demograficznego ilustruje wykres podany za danymi z roczników statystycznych.

Równolegle ze wzrostem Łodzi następował, tylko znacznie wolniej, rozwój innych osad fabrycznych w bliższej i dalszej okolicy. Powstał pewien obszar dość jednolity pod względem gospodarczym, którego głównym ośrodkiem była Łódź. Dla Łodzi tego okresu charakterystyczne są wielkie zespoły fabryczne

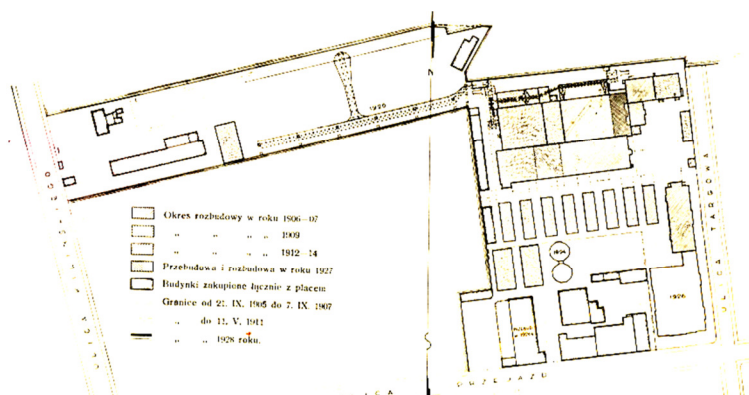
usytuowane wśród zabudowy mieszkaniowej oraz gęsto zaludniony środek miasta w którym skupiał się bardzo ruchliwy handel i część fabryk.

Korzyści wynikające z zastosowania napędu elektrycznego do licznych urządzeń maszynowych o niewielkim zapotrzebowaniu mocy, jak również stwierdzone już wtedy zalety oświetlenia elektrycznego skłoniły w końcu XIX wieku do rozpoczęcia działań związanych ze zbudowaniem elektrowni.



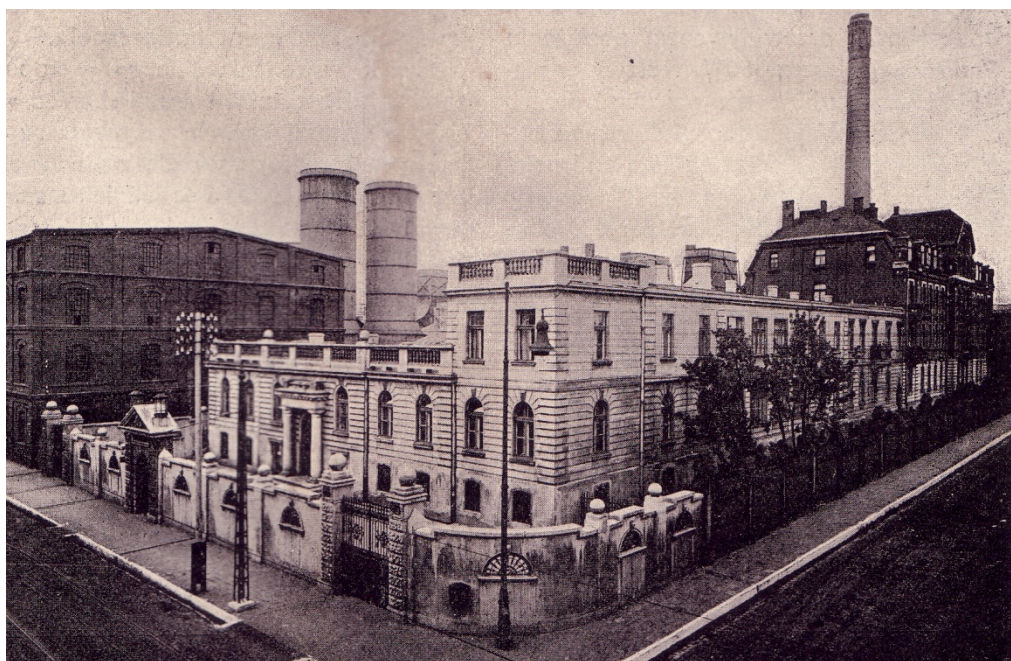
Rys. 1. Demograficzny rozwój Łodzi
Fig. 1. Demographic development of Łódź

W roku 1900 firma „Simens & Halske” otrzymała koncesję na budowę i eksploatację elektrowni. W pięć lat później rozpoczęto prace związane z budową centrali (elektrowni) i układaniem sieci kablowej. Jako pierwszy ułożony został odcinek kabla niskiego napięcia od ulicy Traugutta 3, gdzie zlokalizowano „prowizorium z lokomobili Lanza” do nowo utworzonego sklepu „American Diamant Palace” przy ul. Piotrkowskiej 37. Jesienią 1906 roku ułożono już 60 km kabla. Budowę elektrowni rozpoczęto 25 maja 1906 r. Trwała ona około 1,5 roku. We wrześniu 1907 r. włączono do pracy w sieci pierwszy turbozespół 1. Plan elektrowni z okresu 1906-1928 został pokazany na rys. 2. Dominującymi elementami w krajobrazie elektrowni były stalowe chłodnie i prawie 70 metrowej wysokości, murowany komin.



Rys. 2. Plan sytuacyjny elektrowni (1906-1928)

Fig. 2. Plan of the plant (1906-1928)

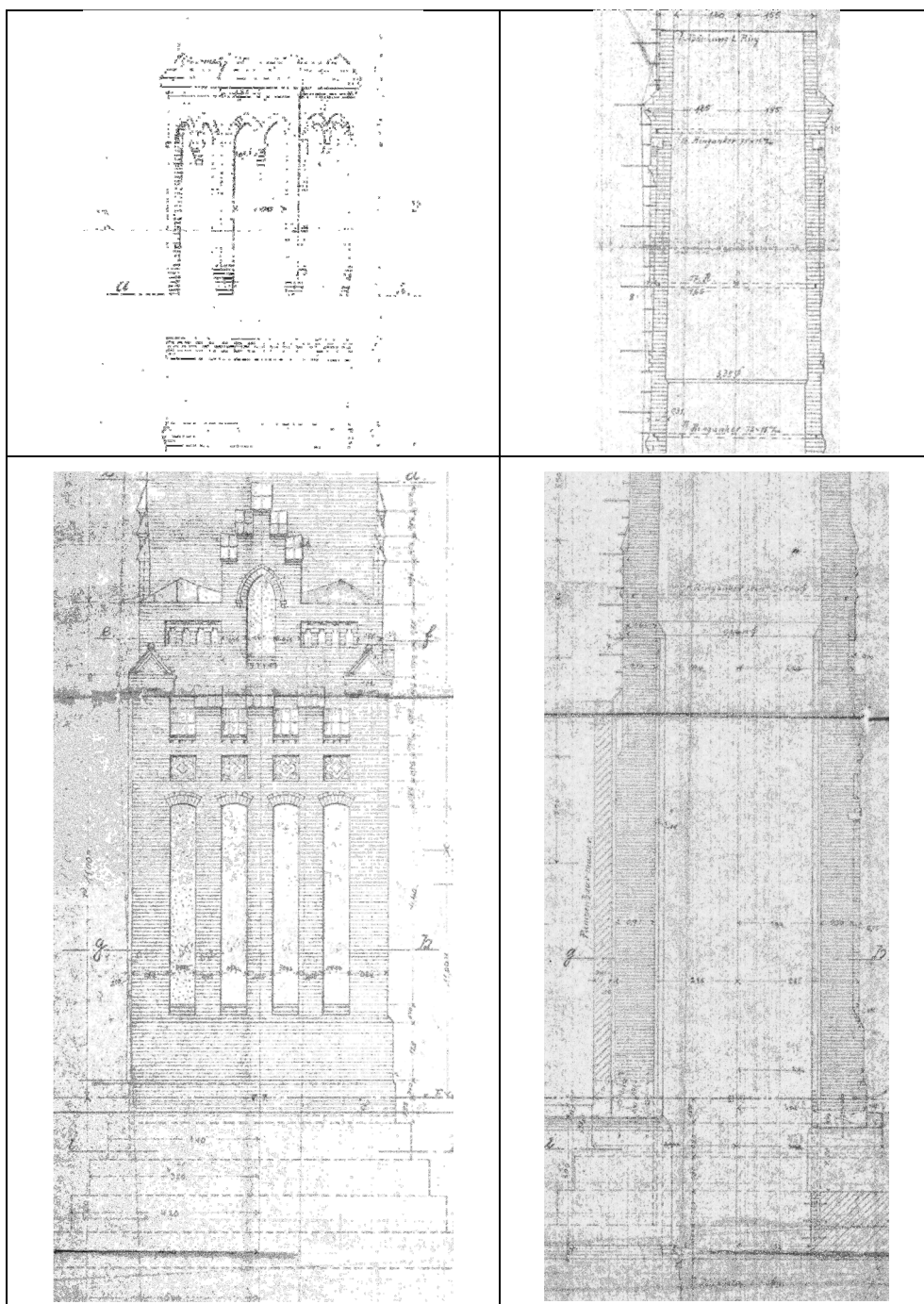


Rys. 3. Widok elektrowni z 1928 r.

Fig. 3. View of power plant in 1928

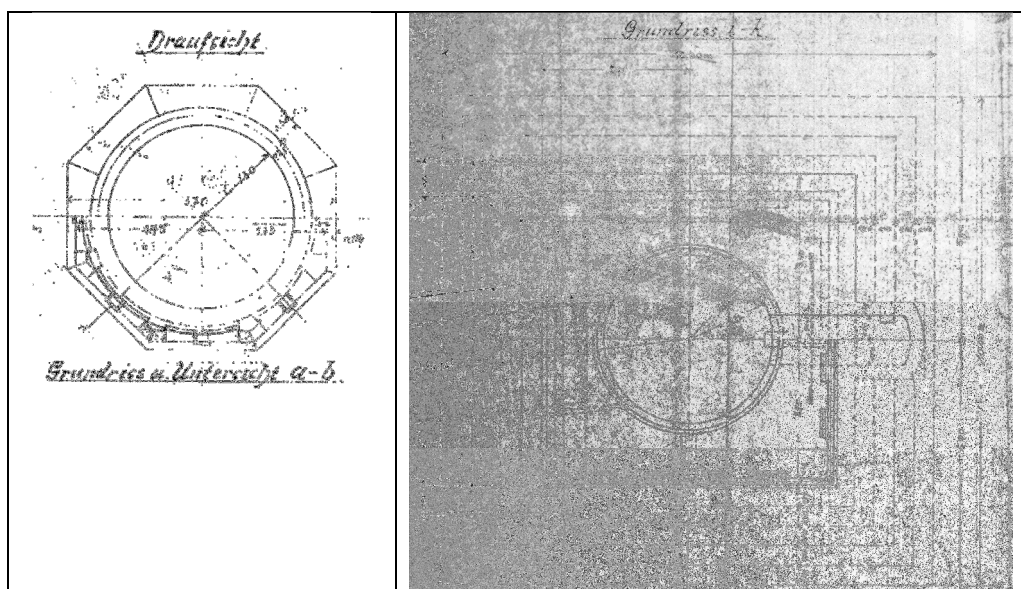
2. Projekt komina

Projekt komina został wykonany w lutym 1906 roku [2] i w ciągu niecałego roku komin wybudowano. W tym okresie był to jeden z najwyższych kominów w Łodzi. Jego projektowana wysokość ponad poziom otaczającego terenu,



Rys. 4. Projektowane elewacje komina i przekroje pionowe
 Fig. 4. The proposed elevations and vertical sections of chimney

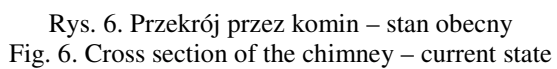
wynosiła 65.3 m wraz z prostokątną częścią podstawy. Trzon komina zaprojektowano lekko zbieżny – zbieżność 2.1%. Wysokość trzonu wynosiła 54.0 m. Średnice zewnętrzne i grubości płaszcza wynosiły odpowiednio – górna $D_g = 3.10$ m, $d_g = 0.25$ m, – dolna $D_d = 5.40$ m, $d_d = 0.76$ m. Grubość płaszcza zmieniała się wewnątrz trzonu skokowo co około 6.0 m. Komin posadowiono na murowanym fundamencie o schodkowo zmieniających się wymiarach. Wymiar podstawy, o posadowieniu zaprojektowanym w poziomie 5.0 m poniżej terenu, były równe 10.0x10.0 m. Już w trakcie budowy stwierdzono w miejscu lokalizacji kurzawkę i zwiększono głębokość posadowienia komina. Mając to na uwadze, oddylatowano sąsiednie elementy budynków tak, by nie obciążały fundamentu komina. Na zewnętrznej powierzchni komina zaprojektowano klamry drabinki i osłaniające ją obręcze. W oryginalnym projekcie nie było metalowych obejm opasujących trzon komina. Nie zaprojektowano zewnętrznych galerii. Elewacje i przekroje pionowe komina według oryginalnego projektu pokazano na rys. 4. Przekrój poziomy komina pokazano na rys. 5.



Rys. 5. Przekroje poziome komina – górny i dolny z fundamentem
Fig. 5. Horizontal sections of the chimney – top and bottom with the foundation

3. Stan istniejący komina – lata 2009-2011

W związku z projektowanym przekształceniem budynków elektrowni na centrum konferencyjno-edukacyjne, komin jako dominujący akcent w jej krajobrazie zostanie poddany renowacji. Prace renowacyjne zostały poprzedzone



dokładnymi badaniami konstrukcji komina. Obejmowały one wykonanie pomiarów geometrii komina, jego pionowości, dokonano inwentaryzacji uszkodzeń zarówno zewnętrznej jak i wewnętrznej powłoki płaszcza komina, wykonano badania geologiczne w bezpośrednim sąsiedztwie komina, zbadano wytrzymałość cegły użytej do wykonania komina oraz przeprowadzono analizę wytrzymałościową z uwzględnieniem obowiązujących obecnie przepisów. Obecny widok komina przedstawiono na rys. 6.

Wysokość komina mierzona od poziomu terenu do wierzchołka wynosi 68.80 m, w tym część prostopadłościenna – 12.60 m. Wymiary części prostopadłościennej w rzucie są równe:

- długość 6.00 m
- szerokość 6.20 m

Średnica komina i grubości płaszcza wynoszą odpowiednio:

- w oparciu na części prostopadłościennej $D_1 = 5.46$ m $d_1 = 0.67$ m
- przy wierzchołku $D_2 = 3.58$ m $d_2 = 0.25$ m



Rys. 7. Widok komina, a – widok ogólny, b – szczegół górnej części trzonu komina
Fig. 7. View of the chimney, a – general view, b – detail top of chimney shaft

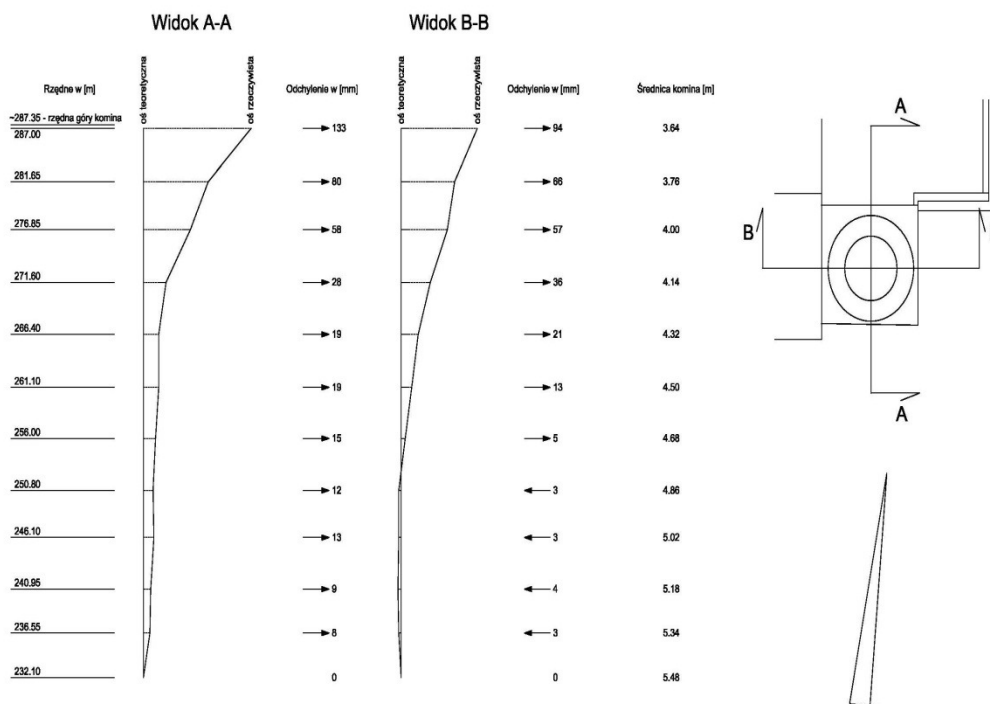
Na zewnątrz komina znajdują się dwie galerie w poziomach około 35,51 m i 59,47 m. Grubość płaszcza zmienia się skokowo w 6 przekrojach. W porównaniu do oryginalnego projektu, trzon komina został opasany stalowymi obejmami o przekroju 10x60 mm, usytuowanymi co około 0,52 m. Obejmy łączone są śrubami 2M24. Przekrój przez komin został pokazany na rys. 6. Widoki komina zostały pokazane na rys. 7 i rys. 8.



Rys. 8. Stalowe obejmmy trzonu komina
Fig. 8. Clamp Steel chimney shaft

3.1. Geometria i pionowość komina

Pomiary pionowości komina, wykonane w grudniu 2010 r. [3], zostały przedstawione na rys. 9. Oś komina i jego zewnętrzną średnicę wyznaczono na podstawie pomiarów geodezyjnych. Maksymalna odchyłka, przy wierzchołku komina, wynosi w kierunkach prostopadłych 133 mm i 94 mm. Wypadkowa odchyłka wierzchołka komina jest równa 163 mm. Komin jest wychylony w kierunku północno-wschodnim.



Rys. 9. Wyniki pomiarów pionowości komina
Fig. 9. Results of measurements of the vertical chimney

3.2. Inwentaryzacja uszkodzeń

Znacznie zniszczona jest tylko górna, obejmująca około 2.00 m wysokości, część komina. Wymaga ona przemurowania. Szczegóły zniszczonej zewnętrznej powierzchni komina w górnej części zostały pokazane na fotografiach – rys. 10 i rys. 11, a od wewnątrz na fotografii – rys. 12. W górnej części płaszcza komina stwierdzono lokalne ubytki cegieł do głębokości kilkunastu centymetrów. Zostały one wypełnione zaprawą i odłamkami cegieł. Całkowicie zniszczone są stalowe galeryjki. Ich użytkowanie stanowi zagrożenie dla bezpieczeństwa. Po zmyciu w czerwcu 2011 r., z zewnętrznej powierzchni płaszcza komina farby, stwierdzono zadowalający stan cegieł na całej wysokości trzonu komina z wyjątkiem ostatniego, dwumetrowego odcinka. Stan stalowych obejm poza tym odcinkiem jest zadowalający. Wymagają one oczyszczenia i zabezpieczenia. Stan wewnętrznej powierzchni komina, oceniony na podstawie zdjęć wykonanych przez alpinistów [4] uznano jako zadowalający.

Uszkodzenia wewnętrznej powierzchni płaszcza w górnej części pokazano na rys. 11. Ta część komina była już w trakcie jego eksploatacji przemurowywana.



Rys. 10. Uszkodzenie górnego gzymsu płaszcza komina
Fig.10. Damage to the cornice of the upper mantle of the chimney



Rys. 11. Uszkodzenia zewnętrznej, górnej powierzchni płaszcza
Fig. 11. Damage to the outer surface of the upper mantle



Rys. 12. Uszkodzenia zewnętrznej, górnej powierzchni płaszcza
Fig. 12. Damage to the inside surface of the upper mantle

3.3. Badania wytrzymałości cegły

Z dolnej części płaszczu komina zostało pobrane 9 próbek walcowych, o średnicy 143 mm i wysokościach równych około 180 i 250 mm Są to rdzenie pobrane techniką odwiertu. Powierzchnie próbek zostały przycięte, wyrównane zaprawą i wyszlifowane. Na bocznych powierzchniach próbek widać starannie wypełnione spoiny (rys. 13).



Rys. 13. Próbkę muru komina pobrane do badań
Fig. 13. Masonry chimney samples collected for testing

Badania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej Form+Test, przy zakresie siły 60 kN do 3000 kN, w Laboratorium Badawczym materiałów i konstrukcji Budowlanych KBB, PŁ [4]. Wymiary próbek i wyniki badań wytrzymałościowych zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki badań próbek pobranych z komina
Table.1. The results of samples taken from the chimney

Lp.	Oznaczenie próbek	Wymiary [mm]		Masa [g]	Gęstość [kg/m ³]	Siła niszcząca [kN]	Wytrzymałość [MPa]
		d	h				
1	1	143	252	7680	1950	71,7	5.26
2	2	143	256	7600	1850	98,6	
3	3	143	254	7780	1910	82,8	
4	4	143	179	5620	1950	104,1	6.95
5	6	143	176	5600	1980	129,8	
6	7	143	177	5420	1910	94,4	
7	8	143	171	5240	1910	117,5	

3.4. Badania geotechniczne

Parametry podłoża gruntowego pod kominem zostały określone na podstawie badań wykonanych w marcu 2011 r. [5]. W otworze wykonanym w bezpośrednim sąsiedztwie komina stwierdzono, że bezpośrednio pod fundamentem zalega glina piaszczysta zwięzła, ciemnoszara z przewarstwieniami z piasku drobnego o stopniu plastyczności $I_L = 0.05-0.15$. Konieczność wykonania badań wynikała z informacji zawartych w dok. 1, z których wynikało, że komin został posadowiony w strefie kurzawki. Słabe warstwy gruntu stwierdzono w badaniach geologicznych poniżej poziomu posadowienia komina, w odległości około 4 m od obrysu fundamentu komina.

4. Analiza statyczno-wytrzymałościowa

Obliczenia komina wykonano zgodnie z ustaleniami normy PN-88/B-03004). Obciążenie wiatrem trzonu komina przyjęto przy założeniu charakterystycznego ciśnienia prędkości wiatru q_k – przyjętego jak dla strefy I.

$$q_k = 0,30 \text{ kPa} \times 1,2 = 0,36 \text{ kPa}$$

Współczynnik porywów wiatru przyjęto $\beta = 2$ dla $H < 100$ m oraz współczynnik ujmujący konsekwencję założeń $\gamma_d = 1,35$ dla $H < 100$ m.

Tabela 2. Obliczenie ciężaru komina
Table 2. Calculation of the weight of the chimney

Rzędna nad poziomem terenu [m]	Grubość płaszcza komina [cm]	Średnica zewnętrzna [m]	Średnica wewnętrzna [m]	Ciężar segmentu *) [kN]	Siła na dole segmentu (narastająco) [kN]
68.80	0.25	3.58	3.08	425,07	425.07
62.30	0.25	3.80	3.30		
	0.35	3.80	3.10	572.59	997.66
54.40	0.31	4.07	3.45		
	0.39		3.30	627,62	1625.28
47.00	0.36	4.32	3.60		
	0.44		3.45	662.67	2287.95
40.50	0.42	4.54	3.70		
	0.50		3.55	674.87	2962.82
34.90	0.47	4.73	3.80		
	0.54		3.66	1009,27	3972.09
27.40	0.50	4.98	3.98		
	0.59		3.80		

21.51	0.57	5.18	4.05	917.33	4889.42
	0.64		3.90	726.45	
17.30	0.61	5.33	4.10		5615.87
	0.69		4.32	1098.91	
12.60	0.70	5.81	4.40		
11.44	0.70	5.81	4.40		6714.78
	0.96		3.90	3327,00	
3.00	0.64	5.81	4.54		10041.78
0.0	1.11	6.44	4.54	1603.28	11645.06
-4.0				4325.30	15970.36
-5.0				1900.00	17870.36

Obciążenia pionowe, ciężar komina, obliczono przy podziale komina na segmenty o tej samej grubości ściany trzonu – tabela 2. Do obliczeń ciężaru segmentu przyjęto ciężar objętościowy cegły jak dla cegły kominówki, tj. $g_{obj.} = 19 \text{ kN/m}^3$.

Należy uwzględnić wpływ ugięcia drugiego rzędu M'' na wielkość momentów ponieważ:

$$\alpha = 56.20 \times \sqrt{\frac{6514.78}{27.2264 \times 4600000}} = 0,405 > 0,35$$

Obliczenia obciążenia wiatrem, przeprowadzono z uwzględnieniem współczynników obciążenia $\gamma_f = 1,3$ – dla obciążeń wiatrem, $\gamma_f = 1,1$ – dla obciążeń ciężarem własnym trzonu komina.

Zestawienie momentów działających na komin w przekrojach odpowiadających zmianom grubości płaszcza trzonu zawarto w tabeli 3. Podstawowe parametry geometryczne komina i obciążenia zestawiono w tabeli 4.

Wyniki analizy nośności komina zostały zawarte w tabeli 5. W obliczeniach nośności przyjęto, że komin wykonany jest z cegły klasy nie mniejszej niż 25 na zaprawie 10 co pozwala przyjąć $R_{mk} = 4.30 \text{ MPa}$.

Sprężyste ugięcie wierzchołka komina jest równe :

$$y_w = \frac{300 \times 56.2^3}{4 \times 27.226 \times 5200000} = 0,094 \text{ m} < \frac{H_0}{400} = 0,140 \text{ m}$$

Tabela 3. Obliczenie wielkości składowych momentów działających na komin
 Table 3. Calculation of the components of moments acting on the chimney

Wysokość z	Momenty obliczeniowe, [kNm]				Siła normalna obliczeniowa na dole segmentu, [kN]
	Od wiatru	Wpływy II rzędu	Wychylenie komina	Suma momentów	
62.30	148.51	2.16	62.17	212.84	467.58
54.40	717.46	24.74	113.86	856.06	1097.43
47.00	1648.95	83.72	140.12	1872.79	1787.81
40.50	2790.52	184.91	157.62	3133.05	2516.75
34.90	4019.96	351.68	169.50	4541.14	3259.10
27.40	5960.62	585.20	182.82	6728.64	4369.30
21.51	7803.11	778.53	193.91	8775.55	5378.36
17.30	9268.25	1033.42	201.10	10502.77	6177.46
12.60	11482.54	1033.42	201.10	12717.06	7386.26
3.00	15028.74	1033.42	201.10	16263.26	11045.96
0.00	16382.20	1033.42	201.10	17616.72	12809.57
-4.25					17567.40
-5.25	18659.02	1033.42	201.10	19893.54	19657.40

Tabela 4. Parametry geometryczne i obciążenie komina
 Table 4. Geometrical parameters and load of the chimney

Rzędna nad poziomem terenu	Stosunek średnic zewnętrznej i wewnętrz. Dw/Dz	Promień rdzenia głównego e	Promień rdzenia poszerzonego c	Siła normalna na dole segmentu obliczeniowa ($\times \gamma = 1,1$) N	Moment zginający obliczeniowy ($\times \gamma = 1,3$) M	Mimośród e_o
[m]		[m]	[m]	[kN]	[kNm]	[m]
62.30	0.868	0.72	1.21	467.58	212.84	0.46
54.40	0.848	0.75	1.26	1097.43	856.06	0.78
47.00	0.833	0.76	1.31	1787.81	1872.79	1.05
40.50	0.815	0.77	1.33	2516.75	3133.05	1.25
34.90	0.803	0.78	1.35	3259.10	4541.14	1.40
27.40	0.799	0.82	1.42	4369.30	6728.64	1.54

21.51	0.782	1.04	1.83	5378.36	8775.55	1.63
17.30	0.769	1.06	1.88	6177.46	10502.77	1.70
12.60	0.753	1.08	1.91	7386.26	12717.06	1.72
3.00				11045.96	16263.26	1.47
-5.25				19657.40	19893.54	1.01

Tabela 5. Nośność komina
Table 5. Capacity of the chimney

Rzędna nad poziomem terenu	Wskaźnik wytrzymałości przekroju	Powierzchnia przekroju trzonu	Maksymalne pionowe naprężenie	Minimalne pionowe naprężenie	Naprężenia dopuszczalne	σ_{m1} / σ_d
	-	F	σ_{m1}	σ_{m2}	σ_d	
[m]	[m ³]	[m ²]		[MPa]	[MPa]	
62.30	2.269	2.731	0.265	0.077	1.78	0.15
54.40	3.123	3.583	0.580	0.032	1.85	0.31
47.00	4.008	4.393	0.874	-0.060	1.92	0.46
40.50	5.090	5.424	1.079	-0.152	1.98	0.54
34.90	6.006	6.222	1.280	-0.232	2.04	0.63
27.40	7.069	6.951	1.579	-0.324	2.11	0.75
21.51	8.417	8.098	1.706	-0.378	2.16	0.79
17.30	9.451	8.943	1.938	-0.557	2.20	0.88
12.60	9.857	8.923	2.118	-0.462	2.25	0.94
3.00	26.341	18.542	1.213	-0.022	2.34	0.52
-5.25	166.67	100.000	0.316	0.078	2.37	0.134

Warunek nośności komina w najbardziej wyężonym przekroju jest zachowany

$$\sigma_{m1} = 2118 \text{ kPa} < \sigma_d = 2250 \text{ kPa}.$$

5. Podsumowanie

- Stan komina jest zróżnicowany na jego wysokości. Do poziomu drugiego pomostu stan płaszcza komina i elementów wyposażenia jest dostateczny. Po ustawieniu rusztowań i zmyciu zewnętrznej powierzchni płaszcza stwierdzono, że tylko najwyższy, około 2 m wysokości odcinek komina jest w bardzo złym stanie. Konstrukcje pierwszej i drugiej galerii są również w bardzo złym stanie. Obecnie jakiegokolwiek ich użytkowanie stwarza zagrożenie życia.

- W przypadku zachowania komina należy przemurować jego górną część, na odcinku około 2 m. Dokładny zakres rozbiórki górnej części komina ustalić w trakcie odślawiania poszczególnych partii komina.
- Pomiar pionowości komina wykazał, że jego górna część jest wychylona o około 160 mm.
- Nośność komina dla istniejących obciążeń stałych i obciążenia wiatrem oraz przy uwzględnieniu odchyłek od pionu, jest zachowana.
- W przypadku zachowania komina w całości wymagana jest naprawa górnej części płaszcza oraz elementów stalowego wyposażenia komina wraz z klamrami.
- Cała zewnętrzna powierzchnia komina musi zostać poddana zabiegom konserwatorskim.
- W przypadku adoptowania płaszcza komina do dodatkowych funkcji wymagana jest dodatkowa weryfikacja nośności.

Literatura

- [1] Zarys historyczny i opis techniczny Zakładów Elektrowni Łódzkiej wydany przez Łódzkie Towarzystwo Elektryczne, Sp. Akc. dla upamiętnienia 25-letniej jej działalności, Łódź kwiecień 1932 r.
- [2] Rysunki projektu komina wykonane w lutym 1906 r.
- [3] **Gronostaj S.:** Szkic inwentaryzacji pionowości komina EC-1 Wschód,. Usługi Geodezyjno-kartograficzne Geocel. Pomiary wykonał mgr inż. S. Gronostaj, Łódź 20 grudnia 2010 r.
- [4] **Kozicki J.:** Ekspertyza o stanie technicznym i nośności komina ceglanego o wysokości 68 m, zlokalizowanego na terenie EC1 Wschód w Łodzi, Łódź, kwiecień 2011.
- [5] **Wajszczyk-Stępień E.:** Dokumentacja geotechniczna Łódź-EC1; budynek S-1 (uzupełnienie) Dokumentacja opracowana w Zakładzie usług Geotechnicznych, Krzysztof Piela, Bartosz Stępień, Łódź marzec 2011.

A MASON CHIMNEY OF THE FIRST THERMOELECTRIC POWER STATION IN LODZ

Summary

The design and present condition of one of the first brick chimneys Lodz is presented. This is a chimney built in 1906 with a height of 63.50 m above the surrounding terrain, which is part of Power Plant Boiler in Lodz. As a result of nearly a century of exploitation followed by tens of years of disuse, the chimney has been degraded. The article analyzes the state of the existing chimney, presents the results of strength, geodetic and geotechnical examinations and assesses its capacity with regard to the current standard.