

**BEZPIECZEŃSTWO EKSPLOATACYJNE
KOMINA ŻELBETOWEGO
- STUDIUM PRZYPADKU**

Maciej Niedostatkiewicz

Tomasz Majewski

Małgorzata Lachowicz

Agnieszka Morawiak

ISBN 978-83-60261-66-8

Gdańsk 2019

Redakcja:

Katedra Konstrukcji Betonowych
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Politechnika Gdańska

Afiliacja:

Maciej Niedostatkiwicz¹
Tomasz Majewski¹
Małgorzata Lachowicz¹
Agnieszka Morawiak²

¹Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska,
Katedra Konstrukcji Betonowych

²Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska,
Katedra Inżynierii Drogowej i Transportowej

© Copyright by Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska,
ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, Polska

Recenzent: dr inż. Ireneusz Marzec

Wydanie I

Dostępny on-line w serwisie:
<http://www.geomatyka.eu/publikacje/isbn9788360261668/isbn9788360261668.pdf>

ISBN 978-83-60261-66-8

Gdańsk, 2019

Monografia powstała na podstawie badań i analiz własnych Autorów oraz w oparciu o opracowanie pt. *Ekspertyza dotycząca oceny stanu technicznego komina o wysokości 100 m usytuowanego na terenie Elektrociepłowni Elbląg zlokalizowanej w Elblągu przy ulicy Elektrycznej 20a* wykonane przez Macieja Niedostatkiwicz i Tomasza Majewskiego w Katedrze Konstrukcji Betonowych, Politechniki Gdańskiej w grudniu 2017r.

Spis treści

WSTĘP	7
ROZDZIAŁ I	
DANE OGÓLNE I STAN ISTNIEJĄCY KOMINA.....	8
1.1 Dane ogólne.....	8
1.2. Opis stanu istniejącego komina.....	10
ROZDZIAŁ II	
ANALIZA STANU ISTNIEJĄCEGO	11
2.1. Analiza stanu istniejącego	11
2.2. Analiza stanu technicznego komina na podstawie badań chemicznych.....	11
2.3. Analiza stanu technicznego komina na podstawie termogramów.....	12
2.4. Analiza stanu technicznego komina na podstawie obliczeń statyczno- wyttrzymałościowych.....	12
2.5. Analiza stanu technicznego komina w aspekcie dotychczasowego sposobu eksploatacji .20	
ROZDZIAŁ III	
PODSUMOWANIE	22
3.1. Wnioski.....	22
3.2. Zalecenia.....	22
LITERATURA	27
SPIS ZAŁĄCZNIKÓW	30
SPIS RYSUNKÓW	30
SPIS TABLIC.....	30
INDEKS OZNACZEŃ	31
STRESZCZENIE	32
ABSTRACT	32

WSTĘP

O bezpieczeństwie eksploatacyjnym obiektu budowlanego stanowi zarówno poprawność opracowania projektowego, jak również jego realizacja prowadzona zgodnie z zasadami wiedzy technicznej. Do istotnego pogorszenia stanu technicznego obiektu budowlanego w sposób znaczący może przyczynić się niewłaściwy sposób użytkowania, w tym brak właściwej konserwacji prowadzonej w ramach remontów okresowych. Sytuacja ta dotyczy nie tylko obiektów budownictwa ogólnego, odnosi się również do obiektów przemysłowych, w tym kominów żelbetowych monolitycznych. W niniejszej pracy zamieszczono ocenę stanu technicznego komina o wysokości 100 m w ramach której wykonano kompleksowe sprawdzające obliczenia statyczno – wytrzymałościowe oraz sformułowano jednoznaczne wnioski co do stopnia bezpieczeństwa konstrukcji oraz bezpieczeństwa użytkowania przedmiotowego komina. Określono również ramowy zakres prac związanych z jego dalszą eksploatacją.

ROZDZIAŁ I

DANE OGÓLNE I STAN ISTNIEJĄCY KOMINA

1.1. Dane ogólne

Stanowiący przedmiot opracowania komin żelbetowy o wysokości 100 m zrealizowany został na podstawie indywidualnie opracowanej dokumentacji projektowej. Na podstawie informacji ustnych uzyskanych od przedstawicieli Właściciela ustalono, że w okresie eksploatacji nie poddano przebudowie komina w zakresie zwiększenia lub zmniejszenia jego wysokości. Na przestrzeni czasu użytkownik zamontował system elektrofiltrów, co miało wpływ na zmianę warunków eksploatacji komina. Jednak sposób użytkowania pozostał bez zmian, jako komina przemysłowego. Na podstawie informacji ustnych uzyskanych od przedstawicieli Właściciela ustalono, że dla objętego opracowaniem komina prowadzona jest Książka Obiektu Budowlanego.

W grudniu 2016r. Rzeczoznawca budowlany inż. D. Dźwilewski wykonał okresową kontrolę stanu sprawności technicznej obiektu (tzw. przegląd roczny) z czego sporządził stosowny Protokół kontroli stanu sprawności technicznej nr 1/K/2016. W udostępnionym Protokole stan techniczny komina określony został, jako zły, wymagający przeprowadzenia prac remontowych. W ramach prac diagnostycznych zalecono sporządzenie ekspertyzy technicznej.

W marcu 2017r. firma Przedsiębiorstwo Budownictwa Przemysłowego EMKA Sp. z o.o. Sp. k. opracowała *Ekspertyzę stanu technicznego...* nr E/ELB-K100/17 (III.2017). Opracowanie zawierało: wyniki pomiarów sklerometrycznych betonu wbudowanego w płaszcz, uproszczone sprawdzające obliczenia statyczno-wytrzymałościowe, wyniki pomiarów skuteczności uziemienia urządzeń piorunochronnych, uproszczoną inwentaryzację uszkodzeń oraz dokumentację fotograficzną komina. W ramach opracowania nie wykonano pomiarów geodezyjnych pionowości trzonu, nie pobrano próbek betonu do badań wytrzymałościowych i badań chemicznych oraz nie przeprowadzono szczegółowej analiz uszkodzeń komina. Autorzy ograniczyli się jedynie do wykonania badań sklerometrycznych betonu. Zalecenia opracowanej *Ekspertyzy technicznej...* (III.2017) wskazywały na konieczność podjęcia prac zabezpieczających komin, z uwagi na stwierdzone uszkodzenia powłoki malarskiej, odpadanie elementów otuliny betonowej oraz korozję stalowych elementów wyposażenia.

Wskazano konieczność podjęcia pilnych prac remontowych. Stan techniczny komina w *Ekspertyzie technicznej...* określony został, jako bardzo zły. W swojej treści opracowana *Ekspertyza techniczna...* (III.2017) nie zawierała szczegółów lub chociaż koncepcji niezbędnego zakresu prac remontowych koniecznych do wykonania w najbliższym okresie.

W marcu 2017r. firma Przedsiębiorstwo Budownictwa Przemysłowego EMKA Sp. z o.o. Sp. k., wobec wątpliwości Właściciela, co do treści wykonanej *Ekspertyzy technicznej...* nr E/ELB-K100/17, w szczególności co do braku konkretnych propozycji naprawy komina opracowała Opis techniczny – suplement. Zakres i technologia prac remontowych (III.2017). Zaproponowane w Opisie technicznym koncepcje rozwiązań obejmowały: montaż wewnętrznego przewodu gazoszczelnego (rozwiązanie niezalecane) oraz rozbiórkę komina (rozwiązanie preferowane). Oba działania należało poprzedzić wykonaniem zabezpieczenia płaszcza silosu przed odpadającymi fragmentami otuliny betonowej.

Ze względu na wątpliwości Właściciela, co do konieczności rozbiórki komina stanowiącego przedmiot opracowania w maju 2017r. Przedsiębiorstwo Robót Wysokościowych ANKO przeprowadziło niezależną wizję lokalną w celu oceny stanu technicznego komina.

W wyniku przeprowadzonych oględzin sporządzona została Notatka służbowa (V.2017), w treści której wskazane zostało, że istnieje techniczna możliwość naprawy występujących uszkodzeń komina poprzez reprofilację ubytków i zabezpieczenie powierzchni trzonu komina. W Notatce służbowej (V.2017) zaproponowano przeprowadzenie prac naprawczych komina w oparciu o rozwiązania technologiczno – materiałowe firmy SIKA.

W sierpniu 2017r. firma Przedsiębiorstwo Robót Wysokościowych ANKO na zlecenie Właściciela opracowała *Ekspertyzę techniczną...* nr EX/203-2017 (VIII.2017), która zawierała: wyniki badań laboratoryjnych pobranych próbek materiałów, operat geodezyjny oraz dokumentację fotograficzną. W ramach opracowania wykonano badania chemiczne oraz badania wytrzymałościowe próbek betonu przygotowanych z rdzeni pobranych z różnych miejsc żelbetowego płaszczka komina. Stan techniczny komina określony został, jako dostateczny (w tym stan techniczny żelbetowego płaszczka oceniono jako niedostateczny). W swojej treści *Ekspertyza techniczna...* wskazywała na konieczność pilnego (w pierwszym kwartale 2018 r.) rozpoczęcia prac remontowych polegających w pierwszej kolejności na naprawie żelbetowego płaszczka poprzez reprofilację uszkodzonych powierzchni, poprzedzoną usunięciem uszkodzeń korozyjnych prętów zbrojeniowych oraz lokalnym doszczelnieniem betonu.

Propozycja zakresu prac remontowych dotyczyła również częściowego demontażu zbędnych urządzeń technicznych zawieszonych na kominie oraz wykonanie zabezpieczenia elementów konstrukcji stalowych przewidzianych do pozostawienia. *Ekspertyza techniczna...* nie zawierała szczegółowych propozycji prac remontowych, ze względu na uwarunkowania technologiczno-materiałowe.

We wrześniu 2017r. firma Przedsiębiorstwo Budownictwa Przemysłowego EMKA Sp. z o.o. Sp. k., jako jednostka projektowa w której zrealizowano *Ekspertyzę techniczną* nr E/ELB-K100/17 (III.2017) wniosła pismem L.dz. EK/110/17 zastrzeżenia (IX.2017-1) co do treści *Ekspertyzy technicznej...* nr EX/203-2017 (VIII.2017) opracowanej przez firmę Przedsiębiorstwo Robót Wysokościowych ANKO. W znacznej mierze sformułowane zastrzeżenia dotyczyły zakresu przeprowadzonych badań chemicznych.

Również we wrześniu 2017r. firma Przedsiębiorstwo Budownictwa Przemysłowego EMKA Sp. z o.o. Sp. k., jako jednostka projektowa w której zrealizowano *Ekspertyzę techniczną...* E/ELB-K100/17 (III.2017) ponownie wniosła pismem l.dz. EK/118/17 zastrzeżenia (IX.2017-2) co do treści *Ekspertyzy technicznej...* nr EX/203-2017 (VIII.2017) opracowanej przez firmę Przedsiębiorstwo Robót Wysokościowych ANKO. W tym przypadku zastrzeżenia dotyczyły zarówno zakresu przeprowadzonych badań chemicznych, zakres uwag uległ w tym przypadku bardzo istotnemu rozszerzeniu, krytyce poddany został również zakres prac remontowych zaproponowany w opracowaniu pt. *Ekspertyza techniczna...* nr Ex/203-2017 (VIII.2017).

We wrześniu 2017r. firma SIKA przedstawiła Właścicielowi propozycję technologii przeprowadzenia prac naprawczych komina – Technologia (IX.2017), opracowana zgodnie z ramowymi wskazaniem zamieszczonymi w *Ekspertyzie technicznej...* nr EX/203-2017 (VIII.2017) opracowanej przez firmę Przedsiębiorstwo Robót Wysokościowych ANKO.

Wobec dysponowania opracowaniami technicznymi o zróżnicowanej treści wniosków Właściciel zdecydował się na zlecenie kolejnej szczegółowej analizy.

Bezpośrednią przyczyną realizacji opracowania którego treść stanowi istotną część niniejszej monografii była konieczność uzyskania przez Właściciela odpowiedzi na pytanie czy z uwagi na aktualny stan techniczny komina żelbetowego o wysokości 100 m zapewnione jest bezpieczeństwo konstrukcji oraz bezpieczeństwo użytkownika komina.

Swoim zakresem monografia obejmuje wskazanie propozycji naprawy oraz podanie technologii realizacji prac remontowych niezbędnych do wykonania w celu przywrócenia stanu sprawności technicznej komina żelbetowego, w taki sposób aby możliwe było jego dalsze bezpieczne użytkowanie.

W Załączniku Z-1 niniejszej monografii zamieszczono uproszczoną dokumentację fotograficzną komina, natomiast Załącznik Z-2 zawiera dokumentację fotograficzną wykonaną z zastosowaniem drona. W Załączniku Z-3 załączono termogramy wraz z inwentaryzacją uszkodzeń płaszcza komina, których zadaniem jest wizualizacja potencjalnych nieszczelności. Załącznik Z-4 zawiera sprawdzające obliczenia statyczno-wytrzymałościowe żelbetowego płaszcza komina.

1.2. Opis stanu istniejącego komina

W Załączniku Z-1 zamieszczono zdjęcia komina wykonane z poziomu terenu (Fot.1, Fot.2, Fot.3 oraz Fot.4) – stanowią one uproszczoną dokumentację fotograficzną stanu żelbetowego płaszcza. W górnej części komina w poziomie od +80,0 m do +100,0 m widoczne są rozległe uszkodzenia powłoki malarskiej (pasów czerwono – białych). W obszarze tym widoczne są ubytki betonu w miejscach odpadania otuliny oraz towarzysząca jej korozja prętów zbrojeniowych (brunatno-rdzawe nacieki na powierzchni betonu w miejscu skorodowanego zbrojenia). Ponadto na powierzchni płaszcza (trzonu) kominowa widoczne są lokalne ślady zawilgocenia. Na powierzchni komina widoczne są ślady (brunatno-rdzawe nacieki) korozji stalowych elementów konstrukcji wsporczych.

W Załączniku Z-2 zamieszczono zdjęcia wykonane z zastosowaniem bezzałogowego statku powietrznego (drona). W ramach badań i pomiarów zinwentaryzowano (dookólnie) całą powierzchnię płaszcza komina na całej jego wysokości. Wyniki badań i pomiarów zamieszczone w Załączniku Z-2 wykonane zostały dla 4 stron świata (elewacji: północ – N, wschód – E, południe – S oraz zachód - W). Dla celów inwentaryzacji dronem przyjęto podział komina na sekcje (8 sekcji na wysokości licząc od góry: 100 - 90 m, 90 – 80 m, 80 – 70 m, 70- 60 m, 60 – 50 m, 50 – 40 m, 40 – 30 oraz 30 – do poziomu terenu). Dla każdej elewacji wykonano oględziny 8 sekcji. Zdjęcia wykonane z zastosowaniem drona stanowiły uszczegółowienie dokumentacji fotograficznej zamieszczonej w Załączniku Z-1.

Należy zauważyć, że zdjęcia zamieszczone zarówno w Załączniku Z-1, jak również w Załączniku Z-2 nie wykazywały zmienionego (zwiększonego pod względem ilościowym) zakresu uszkodzeń w stosunku do zakresu przedstawionego w Ekspertyzie technicznej nr E/ELB-K100/17 opracowanej w marcu 2017r. przez PBP EMKA Sp. z o.o. Sp. k., jak również w *Ekspertyzie technicznej...* nr EX/203-2017 opracowanej w sierpniu 2017r. przez PRW ANKO.

ROZDZIAŁ II

ANALIZA STANU ISTNIEJĄCEGO

2.1. Analiza stanu istniejącego

Analiza stanu istniejącego komina przeprowadzona została na podstawie:

- pomiarów inwentaryzacyjnych wykonanych w czasie wizji lokalnych,
- informacji ustnych uzyskanych od przedstawicieli Właściciela,
- analizy udostępnionej fragmentarycznej archiwalnej dokumentacji projektowej,
- analizy dokumentów udostępnionych przez przedstawicieli Właściciela na czas realizacji niniejszego opracowania,
- informacji zamieszczonych w ogólnodostępnej literaturze technicznej, naukowo - technicznej oraz naukowej.

2.2. Analiza stanu technicznego komina na podstawie badań chemicznych

Uwzględniając wyniki badań chemicznych zamieszczone w opracowaniach będących w dyspozycji Właściciela, w szczególności w *Ekspertyzie technicznej*...nr EX/203-2017 opracowanej w sierpniu 2017r. stwierdzono, że beton w pobranych z konstrukcji płaszcz rdzeni utracił naturalną zdolność do ochrony zbrojenia przed korozją. Wysoka zawartość jonów chlorkowych, jak również niska wartość odczynu pH stymulują korozję wżerową stali i rozkład (korozję) struktury betonu. Na podstawie doświadczeń własnych Autorów jak również dostępnej literatury stwierdzono, że w kominach dla których w trakcie remontu na żelbetowy płaszcz (od strony zewnętrznej) nałożono szczelną malarską powłokę ochronną (nieprzepuszczającą wilgoci) nastąpiło znaczące przyspieszenie procesów korozyjnych. Dodatkowo lokalne naprawy wykonane zostały błędnie, niezgodnie z zasadami wiedzy technicznej. Doszczelnienie struktury betonu (od zewnątrz) powoduje zatrzymanie wilgoci w betonie, która doprowadza do rozkładu spoiwa, zniszczenia warstw naprawczych i silnego odalkalizowania betonu w strefie zbrojenia zewnętrznego.

Na powierzchni zewnętrznej płaszcz pojawiają się zarysowania i rozwarstwienia betonu, odpadanie otuliny oraz korozja prętów zbrojenia, co stwierdzono w trakcie oględzin przedmiotowego komina.

Temperatura kwasowego punktu rosy to temperatura gazów spalinowych, poniżej której ze spalin wykrapla się kondensat (nisko stężony kwas siarkowy lub nisko stężony roztwór kwasów np. H₂SO₄ i HCl). Wykroplony kwas siarkowy, który jest silnie korodujący, stanowi zagrożenie dla wewnętrznych powierzchni kanałów spalinowych powodując ich korozję. Przepływ spalin przez komin jak również ich temperatura (w szczególności spadek temperatury na wysokości) powoduje wykroplenie kondensatu w górnej części komina, co widoczne jest na zewnętrznej powierzchni płaszcz od wysokości powyżej 60 m. W strefie tej intensywność jak również ilość występujących uszkodzeń jest zdecydowanie wyższa niż w dolnej części komina.

2.3. Analiza stanu technicznego komina na podstawie termogramów

Uwzględniając wyniki pomiarów termowizyjnych, uzyskane z zastosowaniem drona, zamieszczone w Załączniku Z-3 można sformułować następujące spostrzeżenia: przeprowadzone badania termowizyjne wykazały zróżnicowaną grubość płaszcza komina zarówno po wysokości, jak i po obwodzie. Pozwoliły na wnikliwą ocenę stanu technicznego komina. Ponadto pokazały niedostatki w kształtowaniu geometrycznym komina. Dotyczy to stref połączeń (styków technologicznych betonowania) Uzyskano dobrą korelację pomierzonych różnic temperatur (izoterm) z obliczeniami.

W Załączniku Z-3 pokazano termogramy komina żelbetowego o wysokości $H = 100$ m wykonane przez autorów, przy użyciu kamery termowizyjnej CGOET (błąd pomiaru temperatury $\pm 1^\circ\text{C}$) zamocowanej na dronie Typhoon H. Komin wykonano, jako żelbetowy monolityczny za pomocą szalunków przestawnych. Komin oddany do użytkowania został w latach 70-tych XX wieku

Dane techniczne komina uzyskane z badań termowizyjnych:

- temperatura gazów przy wlocie z czopucha do komina: ok. 120°C ,
- minimalna temperatura na powierzchni płaszcza: 6°C ,
- maksymalna temperatura na powierzchni płaszcza: 25°C

Przeprowadzone pomiary termowizyjne pozwoliły zidentyfikować stan izolacji cieplnej w przedmiotowym kominie, miejsca tzw. obsunięć, ubytków, czy zawilgocenia.

Rozkład temperatury na powierzchni płaszcza zależy od przewodności cieplnej warstw komina (tzw. dyfuzyjności cieplnej – tj współczynnika wyrównywania temperatury). W miejscach defektów (zmian struktury, grubości, lub zwiększonego zawilgocenia) widoczne są na powierzchni anomalie rozkładu temperatury.

Na podstawie termogramów oceniono stan izolacji jako dostateczny.

2.4. Analiza stanu technicznego komina na podstawie obliczeń statyczno- wytrzymałościowych

Dane przyjęte do obliczeń:

- zewnętrzna średnica komina przy podstawie: 7,9 m,
- zewnętrzna średnica komina przy głowicy: 5,9 m,
- wysokość komina: 100 m,
- średnia temperatura gazów w kominie w stanie eksploatacji: $+128^\circ\text{C}$,
- średnia temperatura gazów w kominie w stanie awaryjnym: $+154^\circ\text{C}$,
- spadek temperatury gazów na wysokości komina: nie uwzględniono,
- obliczeniowa temperatura otoczenia w okresie zimowym: -25°C ,
- obliczeniowa temperatura otoczenia w okresie letnim: $+35^\circ\text{C}$,
- obliczeniowa temperatura w pom. pod stropem w okresie letnim (komora GSM): 20°C ,
- obliczeniowa temperatura w pom. pod stropem w okresie letnim (komora GSM): 18°C ,
- prędkość przepływu spalin w kominie: 10 m/s,
- grubość żelbetowego płaszcza: zmienna na wysokości od 25 cm (na dole) do 15 cm na górze,
- grubość izolacji termicznej: zmienna na wysokości od 10 cm (na dole) do 7,0 cm (na górze),
- grubość wymurówki: zmienna na wysokości od 25 cm przy czopuchu do 12 cm przy głowicy,

- klasa betonu w żelbetowym płaszczu: B20 (C16/20),
- klasa stali w żelbetowym płaszczu: StOS (A-0),
- klasa cegły ceramicznej wymurówki: 15,
- izolacja termiczna: wata szklana (lekko ubita),
- w poziomie +6.25 m wykonany jest żelbetowy strop płaski o grubości 20 cm, na którym od góry wykonano warstwę ochronną z cegły klinkierowej gr. 12 cm.

Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe sprawdzające wytrzymałość żelbetowego płaszcza komina wykonano zgodnie z zaleceniami norm PN-EN 13084. Obciążenia stałe przyjęte zostały na podstawie normy PN-EN 1991-1-1 a obciążenie wiatrem wg PN-EN 1991-1-4. Wartości sił wewnętrznych obliczono wykorzystując procedurę podaną w Instrukcji ITB nr 459/2010. Dodatkowo wykonano sprawdzenie wybranych warunków konstrukcyjnych podanych w nieobowiązującej normie PN-B03004:1988.

Obliczenia nośność komina wykonano dla dwóch stanów:

- w stanie nieosłabionym (brak korozji prętów zbrojenia, przyjęto nominalne średnice prętów),
- w stanie osłabionym korozją (przyjęto średnice prętów zbrojenia zmniejszone o 2 mm).

Wyniki obliczeń wykazały, że komin w obu analizowanych stanach spełnia warunki nośności dla analizowanych przekrojów poziomych (na wysokości komina) – patrz Tabl.1 i 2. Z uwagi na brak danych nie analizowano nośności płaszcza komina osłabionego otworami (w poziomie czopuchów).

Szczegółowe wyniki obliczeń zamieszczone zostały w Załączniku Z-4. Poniżej podano tylko wybrane wyniki wykonanych obliczeń.

Tabl. 1:Wytyżenie (nośność żelbetowego płaszczu) w analizowanych przekrojach z uwagi na siły pionowe

Nr segmentu	Wysokość segmentu [m]	Poziom przekroju z [m]	Siła normalna w przekroju N_{sd} [kN]	Przekrój nieosłabiony		Przekrój osłabiony korozją prętów ($\Delta\phi=2\text{mm}$)	
				Nośność przekroju N_{Rd1} [kN]	wytyżenie N_{sd}/N_{Rd1} [-]	Nośność przekroju N_{Rd2} [kN]	wytyżenie N_{sd}/N_{Rd2} [-]
0	0	0,0	20532,09	37981,13	0,54	36461,85	0,56
Ia	6,25	6,3	18908,88	38831,45	0,49	37307,58	0,51
Ib	3,75	10	17883,28	40301,94	0,44	38994,26	0,46
II	10	20	14626,94	39922,61	0,37	38599,63	0,38
III	10	30	12034,65	29583,46	0,41	28915,16	0,42
IV	10	40	10003,16	33365,04	0,30	32772,94	0,31
V	10	50	8205,70	25410,89	0,32	24887,73	0,33
VI	10	60	6458,42	25296,70	0,26	24836,25	0,26
VII	10	70	4765,90	25273,18	0,19	25241,13	0,19
VIII	10	80	3128,12	26321,32	0,12	25759,58	0,12
IX	10	90	1545,10	27160,40	0,06	26499,76	0,06
X	10	100	0,00	28219,11	0,00	27460,33	0,00
				min	0,00		0,00
				max	0,54		0,56

Tabl. 2:Wytyżenie (nośność żelbetowego płaszczu) w analizowanych przekrojach z uwagi na momenty zginające

Nr segmentu	Wysokość segmentu [m]	Poziom przekroju z [m]	M^I_{sd} [kNm]	M^II_{sd} [kNm]	Przekrój nieosłabiony		Przekrój osłabiony korozją	
					Nośność przekroju M_{Rd1} [kNm]	wytyżenie M^I_{sd}/M_{Rd1} [-]	Nośność przekroju M_{Rd2} [kNm]	wytyżenie M^I_{sd}/M_{Rd2} [-]
0	0	0	29673,54	32652,46	73672,88	0,44	71692,20	0,46
Ia	6,25	6,25	29601,19	32535,37	71913,86	0,45	70035,70	0,46
Ib	3,75	10	29472,07	32340,62	65315,36	0,50	63196,06	0,51
II	10	20	28721,20	31301,89	59195,96	0,53	57234,30	0,55
III	10	30	27375,11	29551,93	42712,12	0,69	41747,24	0,71
IV	10	40	25404,52	27117,99	44422,32	0,61	43633,99	0,62
V	10	50	22779,51	24021,19	30130,89	0,80	29510,56	0,81
VI	10	60	19496,45	20302,56	25267,40	0,80	24807,49	0,82
VII	10	70	15561,09	16004,99	20842,74	0,77	20452,15	0,78
VIII	10	80	10986,46	11169,23	16148,66	0,69	15975,75	0,70
IX	10	90	5791,48	5828,95	11115,21	0,52	11198,19	0,52
X	10	100	0,00	0,00	5911,93	0,00	6218,31	0,00
				min	0,00		0,00	
				max	0,80		0,82	

W udostępnionych ekspertyzach (nr E/ELB-K100/17 opracowanej przez firmę EMKA oraz nr EX/203-2017 opracowanej przez firmę ANKO) analizowano stan wytyżenia określony na podstawie nieobowiązującej normy PN-B-03004:1988, przy przyjęciu wartości obciążenia wiatrem według zaktualizowanych norm PN-EN 1991-1-4. Konsekwencją wprowadzenia nowych zasad ustalania wartości obciążenia wiatrem według normy PN-EN 1991-1-4 i PN-EN 1992-1-1

jest zwiększenie wartości obliczeniowych momentów zginających od wiatru w żelbetowym trzonie komina o około 35% (w strefie wiatrowej 1). Skutkuje to zwiększeniem wyężenia przekrojów trzonów istniejących kominów żelbetowych, zaprojektowanych zgodnie z nieaktualnymi już normami PN-B (w tym normą PN-88/B-03004). Wzrost wyężenia wyraża się większymi o kilkadziesiąt procent naprężeniami w betonie i stali zbrojeniowej oraz możliwością wystąpienia efektu uplastycznienia zbrojenia. W związku z tym istniejące kominy nie spełniają warunków Stanu Granicznego Nośności (SGN) oraz Stanu Granicznego Użytkowalności (SGU) dla obecnie obowiązujących norm a istniejące kominy kwalifikuje się do wzmocnienia.

Wyniki wykonanych obliczeń przedmiotowego komina wykonane dla aktualnie obowiązującego zestawu norm PN-EN, z uwzględnieniem korozji prętów zbrojenia wykazały, że żelbetowy płaszcz komina spełnia warunki Stanu Granicznego Nośności (SGN) z uwagi na zginanie i ściskanie oraz warunki Stanu Granicznego Użytkowania (SGU) z uwagi na zarysowanie wywołane temperaturą. Obliczenia wykonane zostały dla nominalnych parametrów materiałowych (normowe wytrzymałości betonu oraz stali zbrojeniowej).

Tabl. 3: Wyniki obliczeń temperatury w okresie letnim, stan normalnej eksploatacji

Nr segmentu	Wysokość segmentu [m]	Poziom przekroju [m]	Grubość			Średnica zewnętrzna D [m]	Temperatura latem w stanie eksploatacyjnym					
			płaszcz g1 [m]	izolacja termiczna g2 [m]	wymurówka g3 [m]		żelbet		mata szklana		wymurówka	
							zewn. T1 [°C]	wewn. T2 [°C]	zewn. T2 [°C]	wew. T3 [°C]	zewn. T3 [°C]	wew. T4 [°C]
			H									
Ia	6,25	6,25	0,25	0,00	0,00	7,90	31,4	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8
Ib	3,75	10	0,25	0,10	0,25	7,77	38,6	45,0	45,0	110,1	110,1	123,2
II	10	20	0,25	0,10	0,25	7,50	38,6	45,0	45,0	110,1	110,1	123,2
III	10	30	0,20	0,07	0,12	7,30	40,1	47,4	47,4	112,2	112,2	121,3
IV	10	40	0,20	0,07	0,12	7,10	40,1	47,4	47,4	112,1	112,1	121,3
V	10	50	0,15	0,07	0,12	6,90	40,2	45,8	45,8	111,8	111,8	121,1
VI	10	60	0,15	0,07	0,12	6,70	40,2	45,8	45,8	111,8	111,8	121,1
VII	10	70	0,15	0,07	0,12	6,50	40,2	45,8	45,8	111,8	111,8	121,1
VIII	10	80	0,15	0,07	0,12	6,30	40,2	45,8	45,8	111,8	111,8	121,1
IX	10	90	0,15	0,07	0,12	6,10	40,2	45,8	45,8	111,8	111,8	121,1
X	10	100	0,15	0,07	0,12	5,90	40,2	45,8	45,8	111,8	111,8	121,1
							min=	24,8		24,8		24,8
							max=	47,4		112,2		123,2

Tabl.4: Wyniki obliczeń temperatury w okresie zimowym, stan normalnej eksploatacji

Nr segmentu	Wysokość segmentu [m]	Poziom przekroju [m]	Grubość			Średnica zewnętrzna D [m]	Temperatura zimą w stanie eksploatacyjnym					
			płaszcz g1 [m]	izolacja termiczna g2 [m]	wymurówka g3 [m]		żelbet		mata szklana		wymurówka	
							zewn. T1 [°C]	wewn. T2 [°C]	zewn. T2 [°C]	wew. T3 [°C]	zewn. T3 [°C]	wew. T4 [°C]
			H									
Ia	6,25	6,25	0,25	0,00	0,00	7,90	-14,6	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
Ib	3,75	10	0,25	0,10	0,25	7,77	-19,1	-8,5	-8,5	98,5	98,5	120,2
II	10	20	0,25	0,10	0,25	7,50	-19,1	-8,5	-8,5	98,6	98,6	120,2
III	10	30	0,20	0,07	0,12	7,30	-16,7	-4,6	-4,6	101,9	101,9	116,9
IV	10	40	0,20	0,07	0,12	7,10	-16,7	-4,6	-4,6	101,9	101,9	116,9
V	10	50	0,15	0,07	0,12	6,90	-16,5	-7,2	-7,2	101,4	101,4	116,7
VI	10	60	0,15	0,07	0,12	6,70	-16,5	-7,2	-7,2	101,4	101,4	116,7
VII	10	70	0,15	0,07	0,12	6,50	-16,5	-7,2	-7,2	101,4	101,4	116,7
VIII	10	80	0,15	0,07	0,12	6,30	-16,5	-7,2	-7,2	101,4	101,4	116,7
IX	10	90	0,15	0,07	0,12	6,10	-16,5	-7,2	-7,2	101,4	101,4	116,7
X	10	100	0,15	0,07	0,12	5,90	-16,5	-7,2	-7,2	101,4	101,4	116,7
							min=	-8,5		4,2		4,2
							max=	4,2		101,9		120,2

W Tabl.3÷6 zestawiono wyniki obliczeń rozkładu temperatury na grubości ściany komina (poszczególnych warstwach przegrody) w okresie letnim i zimowym, dla temperatury spalin w trakcie normalnej eksploatacji ($T_w=128\text{ }^{\circ}\text{C}$) oraz w okresie awarii ($T_w=154\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Tabl. 5: Wyniki obliczeń temperatury w okresie letnim, stan awaryjny

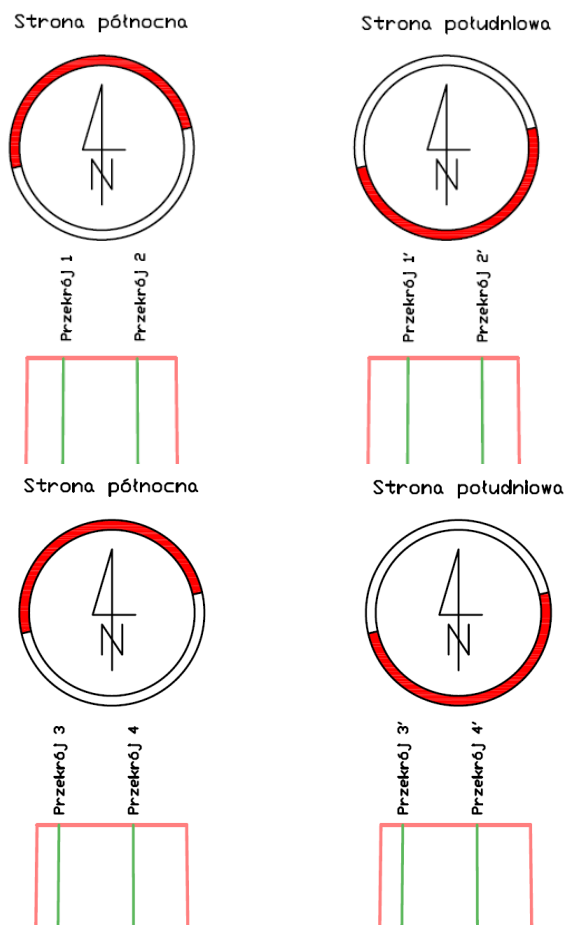
Nr segmentu	Wysokość segmentu [m]	Poziom przekroju [m]	Grubość			Średnica zewnętrzna [m]	Temperatura latem w stanie awaryjnym					
			płaszcz [m]	izolacja termiczna [m]	wymurówka [m]		żelbet		mata szklana		wymurówka	
							zewn.	wewn.	zewn.	wew.	zewn.	wew.
			H	g1	g2		g3	D	T1	T2	T2	T3
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[$^{\circ}\text{C}$]	[$^{\circ}\text{C}$]	[$^{\circ}\text{C}$]	[$^{\circ}\text{C}$]	[$^{\circ}\text{C}$]	[$^{\circ}\text{C}$]	
Ia	6,25	6,25	0,25	0,00	0,00	7,90	31,4	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8
Ib	3,75	10	0,25	0,10	0,25	7,77	39,7	48,3	48,3	130,5	130,5	147,4
II	10	20	0,25	0,10	0,25	7,50	39,7	48,3	48,3	130,5	130,5	147,4
III	10	30	0,20	0,07	0,12	7,30	41,6	51,4	51,4	133,1	133,1	144,8
IV	10	40	0,20	0,07	0,12	7,10	41,6	51,4	51,4	133,1	133,1	144,8
V	10	50	0,15	0,07	0,12	6,90	41,7	49,3	49,3	132,7	132,7	144,6
VI	10	60	0,15	0,07	0,12	6,70	41,7	49,3	49,3	132,7	132,7	144,6
VII	10	70	0,15	0,07	0,12	6,50	41,7	49,3	49,3	132,7	132,7	144,6
VIII	10	80	0,15	0,07	0,12	6,30	41,7	49,3	49,3	132,7	132,7	144,6
IX	10	90	0,15	0,07	0,12	6,10	41,7	49,3	49,3	132,7	132,7	144,6
X	10	100	0,15	0,07	0,12	5,90	41,7	49,3	49,3	132,7	132,7	144,6
							min=	24,8		24,8		24,8
							max=	51,4		133,1		147,4

Tabl. 6: Wyniki obliczeń temperatury w okresie zimowym, stan awaryjny

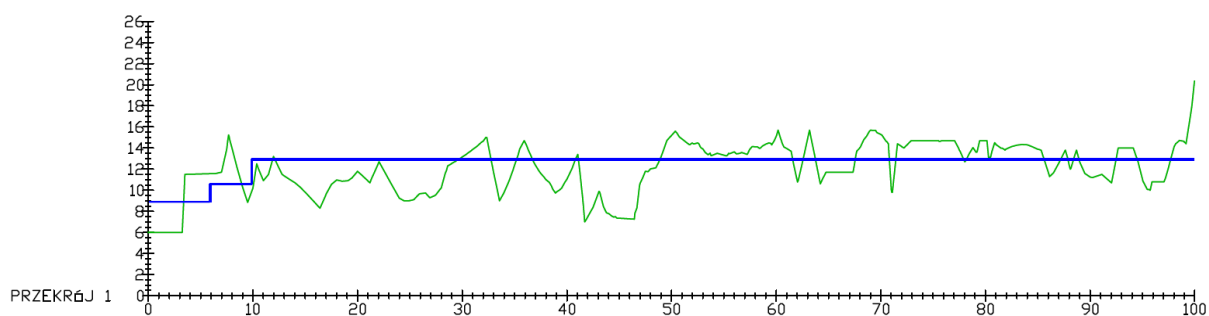
Nr segmentu	Wysokość segmentu [m]	Poziom przekroju [m]	Grubość			Średnica zewnętrzna [m]	Temperatura zimą w stanie awaryjnym					
			płaszcz [m]	izolacja termiczna [m]	wymurówka [m]		żelbet		mata szklana		wymurówka	
							zewn.	wewn.	zewn.	wew.	zewn.	wew.
			H	g1	g2		g3	D	T1	T2	T2	T3
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[$^{\circ}\text{C}$]	[$^{\circ}\text{C}$]	[$^{\circ}\text{C}$]	[$^{\circ}\text{C}$]	[$^{\circ}\text{C}$]	[$^{\circ}\text{C}$]	
Ia	6,25	6,25	0,25	0,00	0,00	7,90	-15,2	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
Ib	3,75	10	0,25	0,10	0,25	7,77	-18,0	-5,0	-5,0	118,8	118,8	144,3
II	10	20	0,25	0,10	0,25	7,50	-18,0	-5,0	-5,0	118,8	118,8	144,2
III	10	30	0,20	0,07	0,12	7,30	-15,1	-0,3	-0,3	122,7	122,7	140,4
IV	10	40	0,20	0,07	0,12	7,10	-15,1	-0,3	-0,3	122,7	122,7	140,4
V	10	50	0,15	0,07	0,12	6,90	-14,9	-3,5	-3,5	122,1	122,1	140,1
VI	10	60	0,15	0,07	0,12	6,70	-14,9	-3,5	-3,5	122,1	122,1	140,1
VII	10	70	0,15	0,07	0,12	6,50	-14,9	-3,5	-3,5	122,1	122,1	140,1
VIII	10	80	0,15	0,07	0,12	6,30	-14,9	-3,5	-3,5	122,1	122,1	140,1
IX	10	90	0,15	0,07	0,12	6,10	-14,9	-3,5	-3,5	122,1	122,1	140,1
X	10	100	0,15	0,07	0,12	5,90	-14,9	-3,5	-3,5	122,1	122,1	140,1
							min=	-5,0		2,9		2,9
							max=	2,9		122,7		144,3

W celu kalibracji modelu obliczeniowego wyniki pomiarów temperatury na zewnętrznej powierzchni żelbetowego płaszczu porównano z wynikami obliczeń. Lokalizację przekrojów pomiarowych pokazano na Rys.1. Pomiary temperatury wykonano w okresie zimowym, w trakcie pełnego zachmurzenia (brak bezpośredniej ekspozycji słońca) gdy wartość temperatury powietrza wynosiła od $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Do obliczeń przyjęto średnią temperaturę otoczenia równą 6°C . Na Rys.2÷9 pokazano przykładowe wykresy temperatury powierzchni zewnętrznej żelbetowego płaszczu na wysokości komina (wykonane dla przekrojów, w których stwierdzono maksymalną i minimalną temperaturę płaszczu). Kolorem zielonym oznaczono wyniki pomiarów a kolorem niebieskim wyniki obliczeń.

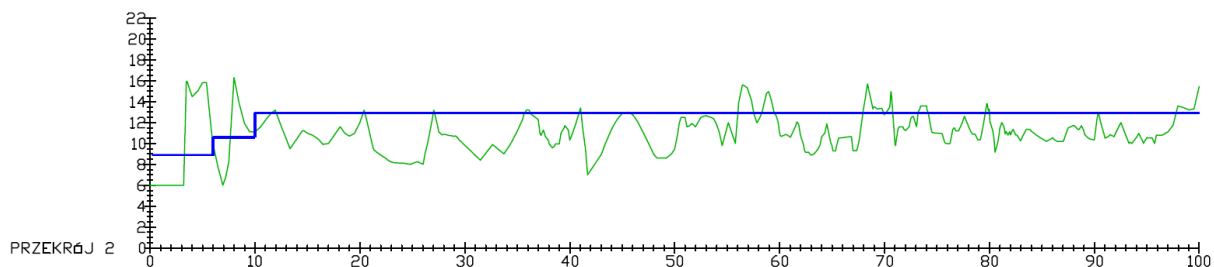
Przekroje do analizy wybrano kierując się lokalizacją miejsc, w których z badań termowizyjnych uzyskano najwyższą i najniższą temperaturę żelbetowego płaszczu. Otrzymano bardzo dobrą zgodność wyników pomiarów z wynikami obliczeń.



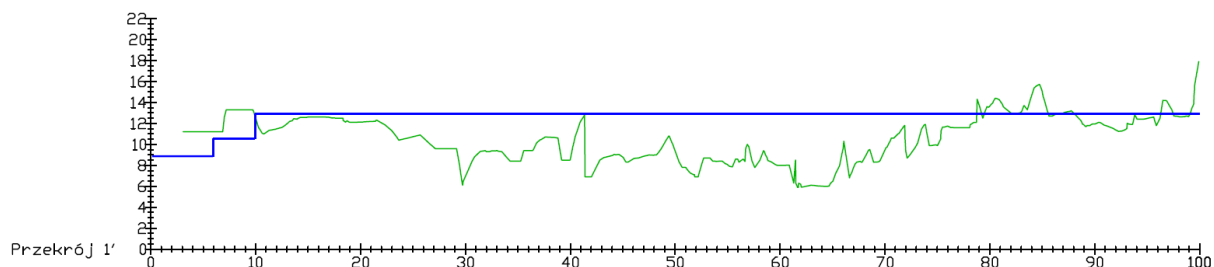
Rys.1: Lokalizacja przekrojów dla których wyniki pomiarów (przekroje 1 i 2 dla T_{max} , przekroje 3 i 4 dla T_{min})



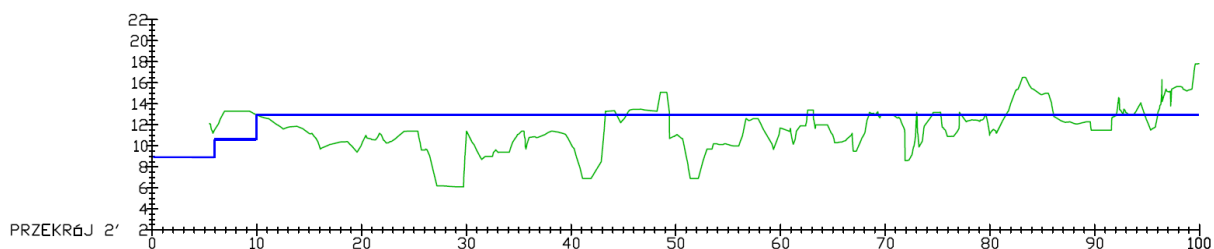
Rys. 2: Przykładowy rozkład temperatury żelbetowego płaszczu na wysokości komina (kolorem zielonym oznaczono wyniki pomiarów termowizyjnych, kolorem niebieskim wyniki obliczeń)



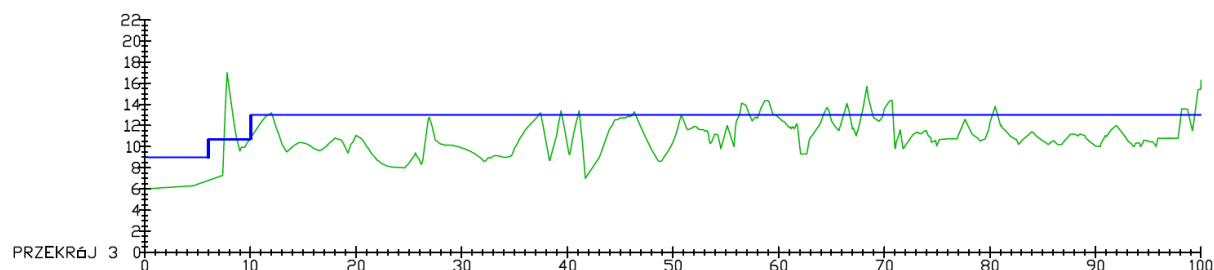
Rys. 3: Przykładowy rozkład temperatury żelbetowego płaszczu na wysokości komina (kolorem zielonym oznaczono wyniki pomiarów termowizyjnych, kolorem niebieskim wyniki obliczeń)



Rys. 4: Przykładowy rozkład temperatury żelbetowego płaszczu na wysokości komina (kolorem zielonym oznaczono wyniki pomiarów termowizyjnych, kolorem niebieskim wyniki obliczeń)

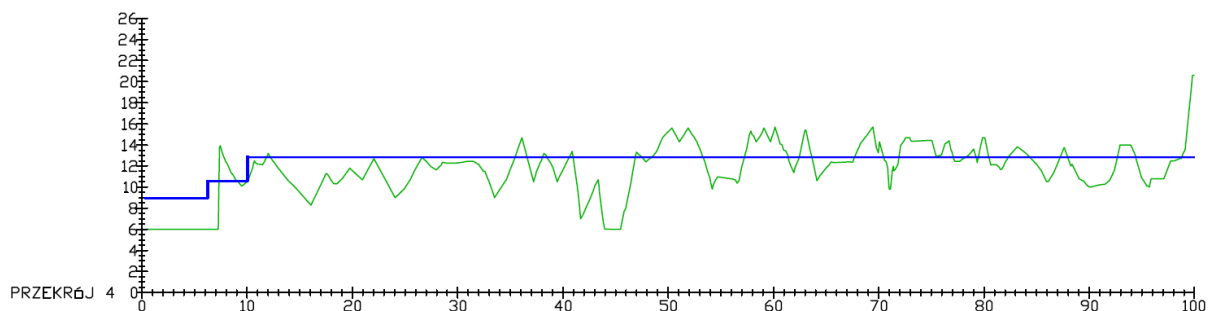


Rys. 5: Przykładowy rozkład temperatury żelbetowego płaszczu na wysokości komina (kolorem zielonym oznaczono wyniki pomiarów termowizyjnych, kolorem niebieskim wyniki obliczeń)

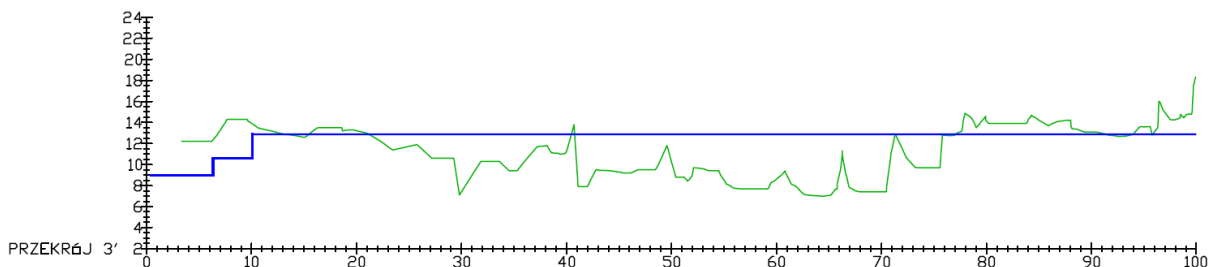


Rys. 6: Przykładowy rozkład temperatury żelbetowego płaszczu na wysokości komina (kolorem zielonym oznaczono wyniki pomiarów termowizyjnych, kolorem niebieskim wyniki obliczeń)

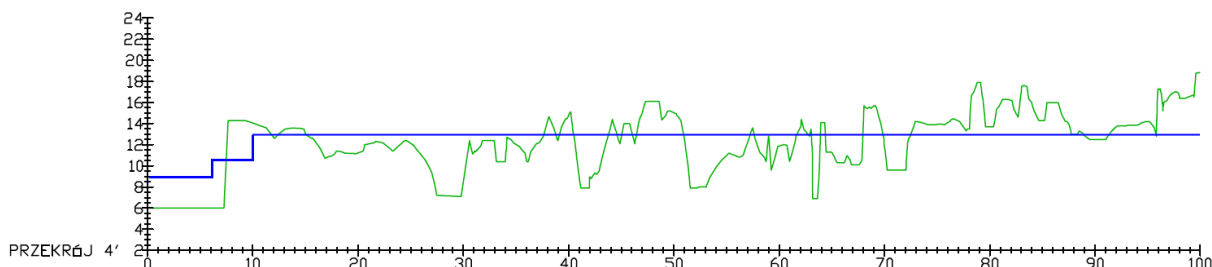




Rys. 7: Przykładowy rozkład temperatury żelbetowego płaszcza na wysokości komina (kolorem zielonym oznaczono wyniki pomiarów termowizyjnych, kolorem niebieskim wyniki obliczeń)



Rys. 8: Przykładowy rozkład temperatury żelbetowego płaszcza na wysokości komina (kolorem zielonym oznaczono wyniki pomiarów termowizyjnych, kolorem niebieskim wyniki obliczeń)



Rys. 9: Przykładowy rozkład temperatury żelbetowego płaszcza na wysokości komina (kolorem zielonym oznaczono wyniki pomiarów termowizyjnych, kolorem niebieskim wyniki obliczeń)

Dla warunków określonych w normie PN-EN (w stanie eksploatacyjnym oraz awaryjnym) sprawdzono możliwość powstania rys (w przekrojach pionowych) wywołanych gradientem temperatury na grubości żelbetowego płaszcza. Wykonane obliczenia wykazały, że płaszcz pracuje w stanie niezarysowanym, co potwierdzono na obiekcie w trakcie wizji lokalnych. Szczegółowe wyniki obliczeń zamieszczono w Załączniku Z-4, a wybrane wyniki zawiera Tabl. 7.

Tabl. 7: Sprawdzenie wyężenia żelbetowego płaszczu w przekrojach pionowych wywołane działaniem gradientu temperatury

Nr segmentu	Wysokość segmentu [m]	Charakterystyki geometryczne				Stan eksploatacyjny						Stan awaryjny					
		A' [m ²]	I' [m ⁴]	W' [m ³]	M _{cz} [kNm]	Lato			Zima			Lato			Zima		
						Δt _z [°C]	M _t [kNm]	stan	Δt _z [°C]	M _t [kNm]	stan	Δt _z [°C]	M _t [kNm]	stan	Δt _z [°C]	M _t [kNm]	stan
la	6,25	0,0250	0,00032552	0,010417	22,92	-6,56	-2,56	nie	18,80	7,34	nie	-6,63	-2,59	nie	18,13	7,08	nie
lb	3,75	0,0250	0,00032552	0,010417	22,92	6,47	2,53	nie	10,65	4,16	nie	8,61	3,36	nie	12,96	5,06	nie
II	10	0,0250	0,00032552	0,010417	22,92	6,47	2,53	nie	10,64	4,16	nie	8,60	3,36	nie	12,95	5,06	nie
III	10	0,0200	0,00013333	0,006667	14,67	7,37	1,47	nie	12,12	2,42	nie	9,79	1,96	nie	14,75	2,95	nie
IV	10	0,0200	0,00013333	0,006667	14,67	7,37	1,47	nie	12,12	2,42	nie	9,79	1,96	nie	14,74	2,95	nie
V	10	0,0150	0,00004219	0,003750	8,25	5,67	0,48	nie	9,33	0,79	nie	7,54	0,64	nie	11,36	0,96	nie
VI	10	0,0150	0,00004219	0,003750	8,25	5,67	0,48	nie	9,33	0,79	nie	7,54	0,64	nie	11,36	0,96	nie
VII	10	0,0150	0,00004219	0,003750	8,25	5,67	0,48	nie	9,33	0,79	nie	7,54	0,64	nie	11,35	0,96	nie
VIII	10	0,0150	0,00004219	0,003750	8,25	5,67	0,48	nie	9,32	0,79	nie	7,54	0,64	nie	11,35	0,96	nie
IX	10	0,0150	0,00004219	0,003750	8,25	5,66	0,48	nie	9,32	0,79	nie	7,53	0,64	nie	11,34	0,96	nie
X	10	0,0150	0,00004219	0,003750	8,25	5,66	0,48	nie	9,31	0,79	nie	7,53	0,64	nie	11,34	0,96	nie
						min	-2,56		min	-2,79		min	-2,59		min	0,96	
						max	2,53		max	7,34		max	3,36		max	7,08	

2.5. Analiza stanu technicznego komina w aspekcie dotychczasowego sposobu eksploatacji

Wyniki wykonanych obliczeń przedmiotowego komina wykonane dla aktualnie obowiązującego zestawu norm PN-EN, z uwzględnieniem korozji prętów zbrojenia potwierdzają, że płaszcz komina spełnia warunki Stanu Granicznego Nośności z uwagi na zginanie i ściskanie oraz warunki Stanu Granicznego Użytkowania z uwagi na zarysowanie wywołane temperaturą. Obliczenia wykonane zostały dla nominalnych parametrów materiałowych (wytrzymałości betonu oraz stali zbrojeniowej). Z uwagi na niedostateczne rozpoznanie właściwości (parametrów) wbudowanych w komin materiałów konieczne jest pobranie dodatkowych próbek i wykonanie dodatkowych badań.

Przedmiotowy komin projektowany i wykorzystywany (użytkowany) był do odprowadzenia spalin powstających w piecach elektrociepłowni w procesie spalania węgla kamiennego (tzw. spaliny suche o wysokiej temperaturze > 180 °C i niskiej wilgotności). Był to tzw. komin „gorący”, który w wyniku montażu instalacji oczyszczania spalin (elektrofiltrów) zaadoptowany został do kominów „zimnych” bez modyfikacji warstw wewnętrznych. Montaż znacząco zmienił temperaturę jak również charakterystykę spalin oraz parametry ciągu kominowego. Pomierzona temperatura spalin wynosiła około 120 °C i jest blisko temperatury tzw. kwaśnego punktu rosy, co skutkuje wykraplananiem się kondensatu w przegrodzie (warstwach komina) i zwiększenie agresywności środowiska w stosunku do betonu, izolacji oraz wymurówki.

Powszechnym zjawiskiem jest, że w kominach po zmianie parametrów spalin (związanych z montażem nowych instalacji oczyszczania spalin) i braku równoczesnej ich adaptacji polegającej na wykonaniu dodatkowych powłok ochronnych, w krótkim okresie czasu po montażu na powierzchni płaszczu stwierdza się odspojenia betonu wraz ubytki powłok malarskich. Na powierzchni betonu widoczne są brunatno-rdzawe nacieki i plamy wilgoci, powstają dodatkowe rysy i pęknięcia pochodzenia termicznego a z istniejących rys intensywnie wypłukiwane są związki wapna. Rośnie skażenie chemiczne wbudowanych materiałów, które w krótkim czasie może doprowadzić do awarii komina.

Przepływ spalin przez komin jak również ich temperatura (w szczególności spadek temperatury na wysokości) powoduje wykroplenie kondensatu w górnej części komina, co

widoczne jest na zewnętrznej powierzchni płaszczka od wysokości powyżej 60 m. W strefie tej intensywność jak również ilość występujących uszkodzeń jest zdecydowanie wyższa niż w dolnej części komina.

Ostatni remont komina polegający na usunięciu luźnych fragmentów betonu, konserwacji zbrojenia i uzupełnieniu ubytków oraz wykonanie nowych powłok malarskich wykonany został z nieprawidłowo. Zastosowanie szczelnej powłoki ochronnej od strony zewnętrznej skutkuje zatrzymaniem wilgoci w środku betonowego płaszczka i prowadzi w konsekwencji do szybszej jego degradacji (odpadania powłoki malarskiej z betonem) oraz szybszej korozji prętów zbrojenia. Pozostawienie na powierzchni komina istniejących powłok malarskich jest niedopuszczalne i zaleca się ich jak najszybsze usunięcie. Z uwagi na obowiązujące przepisy ruchu lotniczego istniejące kominy należy pomalować w biało-czerwony pasy. Przedmiotowy komin należy pokryć malarską powłoką ochronną, której właściwości ochronne powinny zostać dobrane do występujących warunków użytkowania, w szczególności powłoka ta musi charakteryzować się wysoką paroprzepuszczalnością i odpornością chemiczną.

ROZDZIAŁ III

PODSUMOWANIE

3.1. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych wizji lokalnych, wykonanych pomiarów, oględzin oraz sprawdzających obliczeń statyczno-wytrzymałościowych komina o wysokości 100 m wyprowadza się następujące wnioski:

- Objęty analizą komin stanowiący element infrastruktury technicznej elektrociepłowni, zgodnie z oświadczeniem ustnym przedstawicieli Właściciela zrealizowany zostały w okresie minionym na podstawie indywidualnie opracowanej dokumentacji projektowej.
- Według stanu na miesiąc grudzień 2017r. objęty opracowaniem komin jest dopuszczony do eksploatacji i użytkowany zgodnie z określoną pierwotnie funkcją.
- Na podstawie informacji ustnych uzyskanych od przedstawicieli Właściciela ustalono, że do chwili obecnej w obszarze komina objętego analizą prowadzone były prace remontowe o charakterze remontów okresowych oraz konserwujących, jak również prace związane z jego modernizacją, w tym związane z montażem instalacji oczyszczania spalin (elektrofiltrów).
- Według stanu na miesiąc grudzień 2017r. objęty opracowaniem komin spełnia warunki wymagania Stanu Granicznego Nośności (SGN) oraz Stanu Granicznego Użytkowania (SGU) według zaleceń norm PN-EN 13084-2 oraz PN-EN 13084-2. Komin nie wykazuje znamion zewnętrznych świadczących o jego przeciążeniu lub globalnej utracie stateczności. Ocenia się, że objęty opracowaniem komin w grudniu 2017 r. nie stwarza bezpośredniego zagrożenia bezpieczeństwa konstrukcji oraz bezpieczeństwa użytkowania.
- Tymczasowo, na okres 1 roku, dopuszcza się komin do dalszej eksploatacji pod warunkiem wykonania zaleceń przedstawionych w pkt. 3.2.Zalecenia.
- Szacuje się, że po zrealizowaniu przedmiotowych zaleceń możliwa będzie dalsza eksploatacja komina objętego niniejszym opracowaniem przez okres około 5 lat.

3.2. Zalecenia

Zaleca się przeprowadzenie robót budowlanych związanych z remontem komina o wysokości 100 m usytuowanego na terenie elektrociepłowni według rozwiązań zamieszczonych poniżej:

- 3.2.1. W okresie najbliższych 6 miesięcy (do maja 2018r.) wykonać dodatkowe badania materiałowe (chemiczne i wytrzymałościowe): betonu, izolacji termicznej oraz wymurówki. Badania wykonać należy na próbkach materiałów pobranych z komina na całej jego wysokości. Szczególną uwagę należy zwrócić przy typowaniu miejsc pobrania próbek z górnej części trzonu (powyżej poziomu 60 m). Dodatkowo zaleca się wykonanie badań geodezyjnych pionowości trzonu komina.

- 3.2.2. W okresie najbliższych 9 miesięcy (do września 2018r.) wymienić istniejące powłoki malarskie komina.
- 3.2.3 Przeprowadzić prace remontowe, zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 1504 w następującym zakresie:
- zdemontować nieczynne (zbędne) urządzenie telekomunikacyjne,
 - przewidziane do pozostawienie konstrukcje stalowe, niezabezpieczone poprzez cynkowanie, oczyścić do stopnia Sa2,5 według PN ISO 8501-1, a następnie zabezpieczyć przy pomocy ochronnych powłok wygradzić strefę bezpieczeństwa wokół komina, w której niedozwolone jest przebywanie osób postronnych,
 - malarskich,
 - przeprowadzić naprawę trzonu kominowego dostosowując zakres prac remontowych do wielkości i zakresu uszkodzeń:
 - *naprawa ubytków powierzchniowych od zewnątrz:*
 - usunąć luźne fragmenty betonu, rozkuć beton w miejscach o naruszonej strukturze,
 - wykonać wstępne czyszczenie wodą pod wysokim ciśnieniem (min. 500 bar) (hydromonitoring). Przed rozpoczęciem prac sprawdzić dopuszczalne ciśnienie robocze wody. Ciśnienie dopasować do stanu betonu w taki sposób aby w trakcie czyszczenia nie następowało niszczenie struktury betonu.
 - w miejscach odsłoniętego zbrojenia wykonać czyszczenie strumieniowo - ściernie (piaskowanie) powierzchni betonu oraz odsłoniętego zbrojenia (do stopnia Sa 2,5 według PN ISO 8501-1),
 - oczyszczone pręty zbrojenia pokryć inhibitorami korozji, grubość warstwy zabezpieczającej po wyschnięciu powinna być nie mniejsza niż 1 mm: zaleca się zastosowanie sprawdzonych materiałów uznanych producentów np. Sika, McBauchemie (np. 1× Sika MonoTop 910) lub innego uznanego producenta materiałów przeznaczonych do napraw konstrukcji narażonych na działanie agresywnych związków,
 - osłabione podłoże zaimpregnować emulsją polimerową: zaleca się zastosowanie 1× Sika Baudispersion firmy SIKA lub materiału innego uznanego producenta materiałów budowlanych,
 - wykonać warstwę szczepną: zaleca się zastosowanie 1× Sika MonoTop 910 firmy SIKA lub materiału innego uznanego producenta materiałów budowlanych,
 - wykonać reprofilacje powierzchni betonu: zaleca się zastosowanie systemu Sika MonoTop 600 firmy SIKA lub materiału innego uznanego producenta materiałów budowlanych,
 - *naprawa rys i pęknięć:*
 - rysy poziome na szwach roboczych i rysy w otulinie nad prętami pionowymi należy rozkuć i wypełnić jak w opisanym powyżej przypadku *naprawa ubytków powierzchniowych od zewnątrz*,
 - rysy pracujące o rozwarości $> 0,5$ mm: naciąć na szerokość 6-7 mm, na głębokość min. 10 mm, zagruntować krawędzie nacięcia, wypełnienie kitem trwale plastycznym "wprasowanie" w świeży kit suszonego ogniowo piasku kwarcowego o frakcji max 0,8 mm: zaleca się zastosowanie Sika Primer 3 oraz Sikaflex PRO 3 firmy SIKA lub materiału innego uznanego producenta materiałów budowlanych,

- *szpachlowanie i powłoki ochronne:*
 - strefa I — głowica (pas czerwony) (od +100 m do +90 m):
 - ✓ wykonać warstwę wyrównawczą z zaprawy cementowo - epoksydowej (grubość zgodnie z zaleceniami producenta zawartymi w kartach technicznych): zaleca się zastosowanie 2× Sikagard 720 EpoCem firmy SIKA lub materiału innego uznanego producenta materiałów budowlanych,
 - ✓ wykonać grubowarstwową powłokę ochronną z żywicy epoksydowej (grubość zgodnie z zaleceniami producenta zawartymi w kartach technicznych): zaleca się zastosowanie 1× SikaCor 277 firmy SIKAlub materiału innego uznanego producenta materiałów budowlanych,
 - ✓ wykonać ochronne powłoki malarskie stosując farbę akrylowo – poliuretanową (grubość zgodnie z zaleceniami producenta zawartymi w kartach technicznych) (biały - RAL 9010/ czerwony - RAL 3000 lub 3020): zaleca się zastosowanie 2× SikaCor EG 5 firmy SIKA lub materiału innego uznanego producenta materiałów budowlanych,
 - strefa II — płaszcz (część wysoka oraz część środkowa) (od +90 m do +30 m):
 - ✓ wykonać warstwę wyrównawczą z zaprawy cementowo - epoksydowej (grubość zgodnie z zaleceniami producenta zawartymi w kartach technicznych): zaleca się zastosowanie 2× Sikagard 720 EpoCem firmy SIKA lub materiału innego uznanego producenta materiałów budowlanych,
 - ✓ wykonać impregnację bezbarwną żywicą epoksydową: zaleca się zastosowanie 1× Icosit 2406Primer firmy SIKA lub materiału innego uznanego producenta materiałów budowlanych,
 - ✓ wykonać ochronne powłoki malarskie stosując farbę akrylowo – poliuretanową (grubość zgodnie z zaleceniami producenta zawartymi w kartach technicznych) (biały - RAL 9010/ czerwony - RAL 3000 lub 3020): zaleca się zastosowanie 2× SikaCor EG 5 firmy SIKA lub materiału innego uznanego producenta materiałów budowlanych,
 - strefa III — płaszcz (część niska) (od +30 m do +0,0 m):
 - ✓ wykonać warstwę wyrównawczą z zaprawy cementowo - epoksydowej wypełniającej pory: zaleca się zastosowanie 2× Sikagard 723 EpoCem firmy SIKA lub materiału innego uznanego producenta materiałów budowlanych,
 - ✓ wykonać impregnację bezbarwną żywicą epoksydową: zaleca się zastosowanie 1× Icosit 2406Primer firmy SIKA lub materiału innego uznanego producenta materiałów budowlanych,
 - ✓ wykonać ochronne powłoki malarskie stosując farbę akrylowo – poliuretanową (grubość zgodnie z zaleceniami producenta zawartymi w kartach technicznych) (biały - RAL 9010/ czerwony - RAL 3000 lub 3020): zaleca się zastosowanie 2× SikaCor EG 5 firmy SIKA lub materiału innego uznanego producenta materiałów budowlanych.

3.2.4 W celu wykonania remontu komina należy opracować kompleksową dokumentację remontową. Opracowana dokumentacja projektowa powinna posiadać klauzulę kompletności oraz powinna być zweryfikowana przez osoby z odpowiednimi kwalifikacjami zawodowymi oraz odpowiednim doświadczeniem zawodowym.

- 3.2.5 Przewidziane do realizacji docelowe prace remontowe komina objętego opracowaniem wymagają uzyskania stosownej decyzji administracyjnej wydanej przez właściwy terenowo organ administracyjny.
- 3.2.6 Prace remontowe komina zaleca się przeprowadzić zgodnie z zasadami zawartymi w:
- o Rozporządzeniu Ministra Budownictwa i Przemysłu Materiałów Budowlanych z dnia 28 marca 1972r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy wykonywaniu robót budowlano-montażowych i rozbiórkowych (Dz. U. nr 13, poz. 91),
 - o Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 23 czerwca 2003r. w sprawie informacji dotyczącej bezpieczeństwa i ochrony zdrowia oraz planu bezpieczeństwa i ochrony zdrowia (Dz. U. Nr 120, poz. 1126).
- 3.2.7 W czasie przewidzianych do realizacji prac remontowych komina należy stosować sprzęt techniczny posiadający aktualne badania potwierdzające jego sprawność techniczną. Prace remontowe powinny być prowadzone przez wykwalifikowanych pracowników przedsiębiorstwa budowlanego, zgodnie z przepisami, w tym techniczno-budowlanymi, obowiązującymi Polskimi Normami oraz zasadami wiedzy technicznej pod stałym nadzorem osoby uprawnionej.
- 3.2.8 Zakres prac remontowych, określony wstępnie w pkt.3.2.1, 3.2.2 oraz 3.2.3 wykonanych docelowo w obszarze komina objętego opracowaniem należy potwierdzić poprzez opracowanie dokumentacji powykonawczej.
- 3.2.9 Zakres prac remontowych, określony wstępnie w pkt.7.1, 7.2 oraz 7.3 wykonanych docelowo w obszarze komina objętego opracowaniem należy odnotować w Książce Obiektu Budowlanego.
- 3.2.10 Opisany w pkt.3.2.1, 3.2.2 oraz 3.2.3 zakres robót budowlanych przewidzianych docelowo do realizacji w obszarze komina o wysokości 100 m ma charakter ramowy. Planowane do realizacji roboty budowlane należy skoordynować z opracowanym wcześniej przez Właściciela harmonogramem prac remontowych i naprawczych sieci rurowych i przewodowych usytuowanych na terenie przyległym do komina objętego opracowaniem.
- 3.2.11 Niezależnie od zakresu prac przedstawionego w pkt.3.2.1, 3.2.2 oraz 3.2.3 niniejszej monografii niezbędne jest prowadzenie prac zgodnie z zaleceniami zamieszczonymi w opracowanych w okresie minionym:
- o Protokole kontroli stanu sprawności technicznej (tzw. przegląd roczny),
 - o Protokole kontroli stanu sprawności technicznej i przydatności do użytkowania obiektu budowlanego, estetyki obiektu budowlanego oraz jego otoczenia (tzw. przegląd 5-cio letni).
- 3.2.12 Niniejsza monografia nie zawiera oceny układu funkcjonalno-użytkowego terenu wokół komina o wysokości 100 m usytuowanego na terenie elektrociepłowni.
- 3.2.13 Niniejsza monografia nie zawiera oceny rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych komina o wysokości 100 m usytuowanego na terenie elektrociepłowni.

3.2.14 Autorzyprzyjmują, że wszystkie istotne informacje dotyczące przedmiotu niniejszej monografii zostały im ujawnione przez Właściciela, a tym samym niniejsza monografia została wykonana zgodnie z zasadami wiedzy technicznej oraz zgodnie ze sztuką zawodową.

LITERATURA

1.1. Literatura A (normy i instrukcje)

- [1A]PN-EN 13084-1:2007 Kominy wolnostojące. Część 1: Wymagania ogólne.
- [2A]PN-EN 13084-2:2007 Kominy wolnostojące. Część 2: Kominy betonowe.
- [3A]PN-EN 206-1:2004 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [4A]PN-EN 1991-1-1 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.
- [5A]PN-EN 1991-1-4 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wiatru.
- [6A]PN-EN 1991-1-5 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-5: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania termiczne.
- [7A]PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1.: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [8A]PN-B-03004:1988 Kominy murowane i żelbetowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [9A]PN-B-06251:1963 Roboty betonowe i żelbetowe. Wymagania techniczne.
- [10A]ITB Nr 459/2010 Wolnostojące kominy żelbetowe. Obliczanie i projektowanie według norm PN-EN. Warszawa 2010.

1.2. Literatura B (pozycje literaturowe dotyczące prowadzenia prac remontowych kominów żelbetowych)

- [1B]Hawro L., Konderla P.: Modernizacja komina przemysłowego o znacznym stopniu degradacji. *XXVII Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane-2015*, 601 - 608, Szczecin-Międzyzdroje, 2015,
- [2B]Konderla P., Kasprzak T., Kutylowski R., Waśniewski G.: Analiza stanu wyęźnienia konstrukcji chłodni kominowej w trakcie jej eksploatacji. *XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane-2007*, 793 – 804, Szczecin-Międzyzdroje, 2007,
- [3B]Konderla P., Kutylowski R., Stefanek K.: Koncepcja wzmocnienia konstrukcji chłodni kominowej materiałem kompozytowym z matrycą cementową. *XXVI Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane-2013*, 251 – 258, Szczecin-Międzyzdroje, 2013,
- [4B]Lechman M.: Zagrożenia awaryjne żarobetonowych przewodów kominów żelbetowych. *XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane-2009*, 489 - 496, Szczecin-Międzyzdroje, 2009,



- [5B]Noakowski P., Rost M., Leszinski H.: Podwieszenie uszkodzonej konstrukcji do pobliskiego komina. *XXVII Konferencja Naukowo-Techniczna Awary Budowlane-2015*, 195 - 202, Szczecin-Międzyzdroje, 2015,
- [6B]Lechman M.: *Ocena bezpieczeństwa konstrukcji istniejących kominów żelbetowych według norm PN-EN*. Przegląd Budowlany 4/2012,108-111, Warszawa, 2012,
- [7B]Wróbel K.: Wpływ metody określenia obciążenia wiatrem kominów żelbetowych na wielkość sił wewnętrznych. Przegląd Budowlany, 4/2012,134-137, Warszawa, 2012,
- [8B]Maj M., Ubysz A.: W sprawie zarysowania żelbetowych ścian kominów obciążonych skurczem, termiką i innymi obciążeniami eksploatacyjnymi. Przegląd Budowlany 4/2012,27-. Warszawa, 2012.
- [9B]Fiertak M., Kańska S., Kędzierski M.: Przyczyny i skutki postępującej destrukcji betonu w trzonach kominów przemysłowych. *XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna Awary Budowlane-2017*, Szczecin-Międzyzdroje, 2017,
- [10B] Praca zbiorowa: Budownictwo betonowe, tom XIII. *Wydawnictwo Arkady*, Warszawa 1966.

1.3. Literatura C (pozycje literaturowe dotyczące oceny stanu technicznego obiektów budowlanych)

- [1C]Baranowski W.: Zużycie obiektów budowlanych. Wydawnictwo Warszawskiego Centrum Postępu Techniczno-Organizacyjnego Budownictwa, Ośrodek Szkolenia WACETOB sp. z o.o., Warszawa, 2000,
- [2C]Kucharska-Stasiak E.: Metody pomiaru zużycia obiektów budowlanych. *Materiały Budowlane*, Warszawa, 2, 29-38, 1995,
- [3C]Substyk M.: Utrzymanie i kontrola okresowa obiektów budowlanych. Wydawnictwo ODDK, Warszawa, 2012,
- [4C]Ślusarek J., Gorzel-Jaśniok M.: Problematyka zużycia technicznego obiektów szkolnych zrealizowanych w różnych technologia. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2012.

1.4. Literatura D (informacje zamieszczone w następujących pozycjach literaturowych dotyczące morfologii usterek i uszkodzeń ustrojów konstrukcyjnych)

- [1D]Bukowski B.: Morfologia rys w konstrukcjach betonowych i żelbetowych. *Archiwum Inżynierii Lądowej*, 3, 4, Warszawa 1957,
- [2D]Drobiec Ł., Jasiński R.: Diagnostyka konstrukcji żelbetowych, tom 1. *Wydawnictwo PWN*, Warszawa, 2010,
- [3D]Fegerlund G.: Trwałość konstrukcji betonowych. *Wydawnictwo Arkady*, Warszawa, 1997,
- [4D]Godycki-Ćwirko T.: Morfologia rys w konstrukcjach z betonu. *Wydawnictwo Politechniki Białostockiej*, Białystok 1992,
- [5D]Praca zbiorowa: Trwałość i skuteczność napraw obiektów budowlanych. *Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne*, Wrocław, 2007,
- [6D]Masłowski E., Spiżewska D.: Wzmacnianie konstrukcji budowlanych. *Wydawnictwo Arkady*, Warszawa, 2000,
- [7D]Mitzel A., Stachurski W., Suwalski J.: Awarie konstrukcji betonowych i murowych. *Wydawnictwo Arkady*, 1982.
- [8D]Sokalska A.: Naprawa i ochrona konstrukcji żelbetowych. *Wydawnictwo ITB*, Warszawa, 2012,
- [9D]Ściślewski Z.: Trwałość konstrukcji żelbetowych. *Wydawnictwo ITB*, Warszawa, 1995,
- [10D]Ściślewski Z.: Ochrona konstrukcji żelbetowych. *Wydawnictwo Arkady*, Warszawa, 1999,
- [11D]Urban T.: Wzmacnianie konstrukcji żelbetowych metodami tradycyjnymi. *Wydawnictwo PWN*, Warszawa, 2015.

Dodatkowo należy zauważyć, że w analizie stanu technicznego wykorzystano informacje zamieszczone w opracowaniach technicznych będących w dyspozycji Właściciela.

SPIS ZAŁĄCZNIKÓW

Załącznik Z-1.	Uproszczona dokumentacja fotograficzna komina
Załącznik Z-2.	Dokumentacja fotograficzna komina wykonana z zastosowaniem drona
Załącznik Z-3.	Termogramy wraz z inwentaryzacją uszkodzeń płaszczka komina
Załącznik Z-4.	Sprawdzające obliczenia statyczno- wytrzymałościowe żelbetowego płaszczka komina

SPIS RYSUNKÓW

Rys. 1.	Lokalizacja przekrojów dla których wyniki pomiarów.....	17
Rys. 2.	Przykładowy rozkład temperatury żelbetowego płaszczka na wysokości komina	17
Rys. 3.	Przykładowy rozkład temperatury żelbetowego płaszczka na wysokości komina	18
Rys. 4.	Przykładowy rozkład temperatury żelbetowego płaszczka na wysokości komina.....	18
Rys. 5.	Przykładowy rozkład temperatury żelbetowego płaszczka na wysokości komina	18
Rys. 6.	Przykładowy rozkład temperatury żelbetowego płaszczka na wysokości komina	18
Rys. 7.	Przykładowy rozkład temperatury żelbetowego płaszczka na wysokości komina	19
Rys. 8.	Przykładowy rozkład temperatury żelbetowego płaszczka na wysokości komina	19
Rys. 9.	Przykładowy rozkład temperatury żelbetowego płaszczka na wysokości komina	19

SPIS TABLIC

Tablica 1.	Wytyżenie (nośność żelbetowego płaszczka) w analizowanych przekrojach z uwagi na siły pionowe.....	14
Tablica 2.	Wytyżenie (nośność żelbetowego płaszczka) w analizowanych przekrojach z uwagi na momenty zginające.....	14
Tablica 3.	Wyniki obliczeń temperatury w okresie letnim, stan normalnej eksploatacji.....	15
Tablica 4.	Wyniki obliczeń temperatury w okresie zimowym, stan normalnej eksploatacji.....	15
Tablica 5.	Wyniki obliczeń temperatury w okresie letnim, stan awaryjny.....	16
Tablica 6.	Wyniki obliczeń temperatury w okresie zimowym, stan awaryjny.....	16
Tablica 7.	Sprawdzenie wytyżenia żelbetowego płaszczka w przekrojach pionowych wywołane działaniem gradientu temperatury.....	20

INDEKS OZNACZEŃ

pH	odczyn roztworu	
H	poziom przekroju komina [m]	
g1	grubość płaszcza komina [m]	
g2	grubość izolacji termicznej komina [m]	
g3	grubość wymurówki komina [m]	
D	średnica zewnętrzna komina [m]	
T1-T4	temperatura komina latem w stanie eksploatacyjnym oraz awaryjnym [°C]	
T _w	temperatury spalin w trakcie normalnej eksploatacji oraz w okresie awarii [°C]	
T _{max}	temperatura maksymalna	
T _{min}	temperatura minimalna	
SGN	Stan Graniczny Nośności	
SGU	Stan Graniczny Użytkowości	
A	przekrój poprzeczny segmentu komina [m ²]	
I	moment bezwładności segmentu komina [m ⁴]	
W	wskaźnik wytrzymałości segmentu komina	[m ³]
M _{cr}	moment zginający [kNm]	
M _t	moment zginający wywołany gradientem temperatury [kNm]	
Δt	przyrost (spadek) gradientu temperatury	[°C]
SaX	stopień czystości konstrukcji metalowej	

STRESZCZENIE

O bezpieczeństwie eksploatacyjnym obiektu budowlanego decyduje zarówno poprawność opracowania projektowego, jak również jego realizacja prowadzona zgodnie z zasadami wiedzy technicznej. Do istotnego pogorszenia stanu technicznego obiektu budowlanego w sposób znaczący może przyczynić się niewłaściwy sposób użytkowania, w tym brak właściwej konserwacji prowadzonej w ramach remontów okresowych. W niniejszej pracy zamieszczono ocenę stanu technicznego komina o wysokości 100 m w ramach której wykonano kompleksowe sprawdzające obliczenia statycznie – wytrzymałościowe oraz sformułowano jednoznaczne wnioski co do stopnia bezpieczeństwa konstrukcji oraz bezpieczeństwa użytkowania przedmiotowego komina. Określono również ramowy zakres prac związanych z jego dalszą eksploatacją, poprzedzona koniecznością przeprowadzenia remontu okresowego.

ABSTRACT

The operational safety of the building is determined by both the correctness of the design study and its implementation carried out in accordance with the principles of technical knowledge. A significant deterioration in the technical condition of a building may be significantly affected by improper use, including the lack of proper maintenance carried out as part of periodic repairs. This paper presents the assessment of the technical condition of a 100 m high chimney, under which comprehensive static and strength calculations were made and clear conclusions were made regarding the degree of structural safety and safety of use of the chimney in question. The framework scope of works related to its further operation was also determined, preceded by the need for periodic renovation.

ZAŁĄCZNIK Z-1

[Uproszczona dokumentacja fotograficzna komina](#)

ZAŁĄCZNIK Z-2

[Dokumentacja fotograficzna komina wykonana z zastosowaniem drona](#)

ZAŁĄCZNIK Z-3

[Termogramy wraz z inwentaryzacją uszkodzeń płaszczka komina](#)

ZAŁĄCZNIK Z-4

[Sprawdzające obliczenia statyczno-wytrzymałościowe żelbetowego płaszczka komina](#)