



TEMAT PRACY

**Ekspertyza techniczna murowanego komina
znajdującego się na terenie kampusu
Politechniki Krakowskiej**


Ekspertyza została opracowana na podstawie pracy magisterskiej Pani Sylwii Łącz
wykonanej w Katedrze Materiałów Budowlanych i Ochrony Budowli
Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej

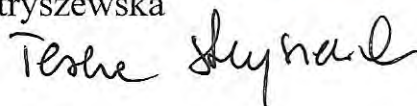
ZLECENIODAWCA: DZIAŁ INWESTYCJI I REMONTÓW
w/m

ZESPÓŁ AUTORSKI:

dr inż. Stanisław Kańka

dr inż. Teresa Stryzewska


dr inż. Stanisław Kańka
30-660 Kraków, ul. Algierska 17/1
uprawnienia do kierowania robotami
budowlanymi bez ograniczeń nr ewid. 189/99
uprawnienia ITB do kierowania laboratorium
budowlanym nr 10/1/92
rzecznik budowlany
w zakresie inżynierii materiałowej
w budownictwie lądowym i wodnym
CRRB nr 5/10/R/C


Teresa Stryzewska

KIEROWNIK KATEDRY


KIEROWNIK
Katedry Inżynierii Materiałów
Budowlanych

dr hab. inż. Izabela Hager, prof. PK

DYREKTOR INSTYTUTU


Dyrektor
Instytutu Materiałów i Konstrukcji Budowlanych
dr hab. inż. Wit Derkowski (1)

Kraków, wrzesień 2017

Spis treści

1.	Podstawy opracowania	3
2.	Cel, zakres, przedmiot	3
2.1.	Przedmiot opracowania	3
2.2.	Cel i zakres opracowania	4
3.	Rys historyczny	4
4.	Opis techniczny obiektu	6
4.1.	Usytuowanie komina	6
4.2.	Funkcja komina	7
4.3.	Podstawowe dane techniczne komina	7
4.4.	Konstrukcja komina	7
4.4.1.	Fundament, czopuch	7
4.4.2.	Cokół	10
4.4.3.	Trzon	11
4.4.4.	Osprzęt (klamry, obręcze)	14
4.4.5.	Instalacje	16
4.5.	Przegląd techniczny komina	17
4.5.1.	Opis zewnętrznej powierzchni trzonu	18
4.5.2.	Opis wnętrza komina	21
5.	Badania komina	23
5.1.	Analiza ilościowa zniszczeń elewacji zewnętrznej – ocena makroskopowa	23
5.2.	Pobranie próbek z konstrukcji komina	31
5.3.	Określenie wilgotności próbek	36
5.4.	Określenie pH i stopnia skażenia	37
5.5.	Badania wytrzymałościowe	38
6.	Wyniki badań i ich analiza	41
6.1.	Badania materiałowe zewnętrznej powierzchni ścian cokołu komina	41
6.2.	Badania materiałowe wnętrza trzonu komina	42
6.3.	Badania materiałowe w przekroju trzonu komina	42
6.4.	Badania materiałowe w przekroju cokołu komina	43
6.5.	Badania fundamentu komina	44
6.6.	Podsumowanie otrzymanych wyników laboratoryjnych	45
7.	Analiza operatu geodezyjnego	49
8.	Analiza obliczeń statyczno-wytrzymałościowych	50
9.	Podsumowanie	51
10.	Zalecenia eksploatacyjne	52
11.	Wytyczne konserwatorskie	53
12.	Załączniki	55

1. Podstawy opracowania

Podstawą formalną opracowania jest pismo DT2/74.2017/JCH z dnia 28 08 2017 roku, skierowane przez Dział Inwestycji i Remontów Politechniki Krakowskiej do Dyrektora Instytutu Materiałów i Konstrukcji Budowlanych z prośbą o wykonanie ekspertyzy technicznej wraz z wytycznymi konserwatorskimi murowanego komina znajdującego się na terenie Kampusu Politechniki Krakowskiej przy ul. Warszawskiej 24.

Podstawę merytoryczną stanowią:

- obserwacje dokonane w trakcie kilku wizji lokalnych komina,
- wyniki badań laboratoryjnych pobranych próbek materiałów,
- warunki techniczne wykonania i odbioru robót budowlano-montażowych. Tom IV – Obmurza pieców przemysłowych i kotłów oraz kominy i chłodnie energetyczne, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1988,
- Instrukcja ITB nr 323/1993 Ocena stanu technicznego i wzmacnianie kominów żelbetowych i murowanych.
- PN-88; B-03004 Kominy murowane i żelbetowe, Obliczenia statyczne i projektowe
- PN-B-12004:1999. Wyroby budowlane ceramiczne. Cegły kominowe.
- PN-86/E-05003/01 Ochrona odgromowa obiektów budowlanych – Wymagania ogólne.
- PN-92/E-05003/04 Ochrona odgromowa obiektów budowlanych – Ochrona specjalna.
- Pracy magisterska Pani Sylwii Łącz wykonana pod kierunkiem dr inż. Teresy Stryszewskiej w Katedrze Materiałów Budowlanych i Ochrony Budowli Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej,
- literatura fachowa.

2. Cel, zakres, przedmiot

2.1. Przedmiot opracowania

Przedmiotem opracowania jest wolnostojący murowany komin znajdujący się na terenie Kampusu Politechniki Krakowskiej przy ul. Warszawskiej w Krakowie. Komin został wybudowany na terenie ówczesnych koszar austrowęgierskich. Był elementem zespołu techniczno-magazynowego wybudowanego na przełomie XIX i XX wieku. Dziś jest obiektem wyłączonym z eksploatacji.

2.2. Cel i zakres opracowania

Celem opracowania jest ocena aktualnego stanu technicznego przedmiotowego komina w oparciu o pomiary geodezyjne, badania właściwości fizyko-mechaniczne i chemiczne oraz obliczenia statyczno-wytrzymałościowe. Na podstawie tej oceny sformułowane zostaną zalecenia odnośnie dalszego postępowania z przedmiotowym kominem, zwłaszcza w zakresie przygotowania prac remontowo-konserwatorskich.

W przypadku analizy przedmiotowego komina celem jest określenie, czy istniejący obiekt nie zagraża bezpieczeństwu osób i mienia w kontekście jego obecnego stanu technicznego. Poza tym, ocena pozwoli na określenie, jakich zabiegów renowacyjnych należy dokonać, aby przedmiotowy komin stanowił dekorację kampusu Politechniki Krakowskiej oraz był punktem rozpoznawalnym i jednocześnie upiększającym krajobraz swoim zabytkowym charakterem.

3. Rys historyczny

Politechnika Krakowska, swoją lokalizację odziedziczyła po austrowęgierskich koszarach wojskowych. Koszary im. Rudolfa Habsburga zbudowano w oparciu o linię okopów wytyczonych jeszcze przez Tadeusza Kościuszkę w 1794 roku. Autorami projektu koszar byli austriaccy wojskowi architekci, którzy dostosowali standard budowli do wzorców wyznaczonych przez wiedeński Arsenał. Plany budowlane sporządzone zostały w Centralnej Komisji Fortyfikacyjnej z siedzibą w Wiedniu. Prace budowlane prowadzone były w latach od 1873 do 1878. Głównym realizatorem prac budowlanych był Antoni Łuszczkiewicz Wygląd koszar od strony ulicy Warszawskiej z 1880 roku przedstawia archiwalna fotografia [**Rys. 3.1**].



Rys. 3.1. Koszary im. Arcyksięcia Rudolfa, widok od ulicy Warszawskiej

Dodać należy, że z końcem XVIII wieku Kraków, ze swą zabudową forteczną i licznym garnizonem, pełnił funkcję twierdzy austrowęgierskiej monarchii. Stanowił również siedzibę dowództwa oraz Okręgu Wojskowego.

Podstawowy zespół koszarowy powstał w latach 1878-1880. W kolejnych latach nastąpiła rozbudowa koszar o zespół magazynowo-gospodarczy oraz budowę garnizonowego, kolejowego magazynu materiałów wojennych. Na początku XX wieku, między 1905 a 1907 rokiem wybudowano kasyno oficerskie oraz ukończono prace związane z infrastrukturą techniczną.

W okresie międzywojennym po odzyskaniu niepodległości, koszary nazwano imieniem Jana III Sobieskiego i były użytkowane przez Wojsko Polskie. Natomiast w czasach II wojny światowej koszary zostały nazwane imieniem Manfreda von Richthofena, i były użytkowane przez jednostkę Luftwaffe stacjonującą na tym terenie.

Kampus Politechniki zlokalizowany przy ul. Warszawskiej 24 znajduje się na liście ewidencji zabytków miasta Krakowa. Obszar kampusu wpisany jest do Rejestru Zabytków nr A-648. Na tym obszarze zlokalizowany przedmiotowy wolnostojący murowany komin o wysokości około 25 m. Został on wybudowany prawdopodobnie w roku 1923. Na podstawie dostępnych źródeł nie udało się ustalić dokładnej daty jego budowy jak również dotrzeć do archiwalnej dokumentacji projektowej.

4. Opis techniczny obiektu

4.1. Usytuowanie komin

Przedmiotowy komin usytuowany jest na terenie Kampusu Politechniki Krakowskiej przy ulicy Warszawskiej 24 w Krakowie. Znajduje się obok budynków: Wydziału Inżynierii i Technologii Chemicznej, Instytutu Materiałów i Konstrukcji Budowlanych oraz Międzywydziałowego Centrum Edukacyjno-Badawczego PK „Działownia”.

Pierwotnie komin pełnił funkcję odprowadzania spalin z lokalnej kotłowni, dlatego też znajdował się w bliskim sąsiedztwie budynku, w którym się mieściła kotłownia **[Rys. 4.1]**.



Rys. 4.1. Komin na tle budynków bylej kotłowni (zdjęcie z 2014 roku)

4.2. Funkcja komina

Obecnie komin nie jest eksploatowany i stanowi jedynie obiekt o wartości historycznej. Dla studentów i gości Politechniki Krakowskiej stanowi ciekawy obiekt zabytkowej infrastruktury koszar.

4.3. Podstawowe dane techniczne komina

Wysokość komina	24,69 m
Średnica zewnętrzna w poziomie wylotu	1,30 m
Średnica wewnętrzna w poziomie wylotu	0,90 m
Średnica wewnętrzna w poziomie podstawy trzonu	1,20 m
Średnica zewnętrzna w poziomie podstawy trzonu	2,29 m
Średnica wewnętrzna cokołu	1,20 m
Grubość ściany u podstawy	0,53 m
Grubość ściany u wylotu	0,20 m
Dodatkowe wyposażenie komina:	
• Szczelby włazowe:	wewnętrzne
• Instalacja piorunochronna	niesprawna
• Czopuch	podziemny

4.4. Konstrukcja komina

4.4.1. Fundament, czopuch

Komin posadowiony jest w sposób bezpośredni na gruncie. Na podstawie odkrywki został zidentyfikowany jako: piasek średni, barwy żółtawej, mało wilgotny. Są to osady czwartorzędowe doliny Wisły. Fundament przedmiotowego komina wykonany jest z cegły pełnej o wymiarach 285 mm x 135 mm x 65 mm. Jedynie ostatnia odsadzka o wysokości 50 cm (stanowiąca podstawę całego obiektu) wykonana jest z betonu. Przekrój fundamentu jest schodkowy (z odsadzkami). Głębokość posadowienia fundamentu sięga 2,4 m poniżej poziomem terenu i jest zgodna z wymaganiami dotyczącymi minimalnego posadowienia, które wynosi 2 m. Szerokość fundamentu przy jego podstawie to około 4 m w obu kierunkach. Szczegółowe wymiary fundamentu oraz układ odsadzek pokazane są na rysunku inwentaryzacyjnym [Załącznik 1 Rysunek 1]. Ponadto na

poniżej załączonych zdjęciach przedstawiono obecny stan fundamentu [Rys. 4.2÷4.3]. Zdjęcia wykonano podczas modernizacji infrastruktury podziemnej w rejonie komina w marcu 2015 roku.



Rys. 4.2. Widok fundamentu – odsadzki



Rys. 4.3. Fundament komina

Wejście do wnętrza komina znajduje się od strony zachodniej poprzez czopuch. Właz do komina o wymiarach 60 cm x 60 cm przekryty jest żeliwną pokrywą, która posadowiona jest w poziomie terenu. Nakrywa włazu jest pęknięta przez środek i w zasadzie nie chroni przed dostaniem się do wnętrza komina [Rys. 4.4].



Rys. 4.4. Właz pozwalający na wejście do wnętrza komina przez czopuch

Czopuch komina – przewód łączący urządzenie grzewcze z przewodem spalinowym – jest podziemny. Konstrukcja dolnej części komina dawała możliwość wprowadzenia czopucha do komina z dwóch stron, obecnie od strony wschodniej czopuch jest zamurowany, dlatego też wejście do komina umożliwiające jest jedynie od strony zachodniej. Szczegółowe wymiary czopucha przedstawione są na rysunku inwentaryzacyjnym [Załącznik 1 Rysunek 1]. Poniżej umieszczone są zdjęcia przedstawiające widok czopucha od zewnątrz i od wewnątrz komina [Rys. 4.5÷4.6].



Rys. 4.5. Sklepienie nad czopuchem, widok od wewnątrz komina



Rys. 4.6. Czopuch nieużytkowany, stan istniejący

Można zauważyć, że na samym dole w środku komina, w tak zwanym odpopielaczu, znajduje się bardzo duża ilość popiołu, sadzy oraz znaczne ilości gruzu ceglanego. Świadczy to o dużym stopniu degradacji cegły we wnętrzu komina.

4.4.2. Cokół

Cokół to część komina, która znajduje się bezpośrednio nad poziomem terenu. Przekrój komina w tej części jest kwadratowy. Wymiar zewnętrzny ścian we wszystkich kierunkach wynoszą 2,66 m. Wysokość cokołu wynosi 2,92 m. Zbudowany jest z cegieł pełnych o wymiarach 285 mm x 135 mm x 65 mm. W tej części komina zastosowano wiązanie murowe – tzw. kowadełkowe. Wewnątrz cokół posiada przekrój kołowy, dlatego też grubość muru znajduje się w przedziale od 75 cm do 90 cm. Grubości spoin poziomych wynoszą maksymalnie 1,35 cm, a pionowych 1,2 cm. Wartości te są zgodne z wymaganiami określonymi w normie. Cokół stanowi jedną z najbardziej zniszczonych części komina. Posiada liczne ślady skorodowania ceramiki. Podstawowe uszkodzenia materiału ceramicznego to: osypywanie się, łuszczenie, a także znaczące ubytki, czasem będące wynikiem działań mechanicznych. Występują także miejscowe ubytki zaprawy i wysolenia. Znajdujące się w obszarze cokołu rysy osiągają rozwarście około 15 mm. Widoczne są ślady próby ich uzupełnienia zaprawą.

Cokół w dwóch poziomach spięty jest stalowymi ściągami (na wysokości 0,20 m od poziomu terenu – ceownik C80; na wysokości 1,60 m od poziomu terenu – ceownik C100), które wzmacniają konstrukcję. Na fotografii [Rys. 4.7] przedstawiono widok istniejącego stanu cokołu komina. Szczegółowa analiza występujących zniszczeń na obszarze tego fragmentu konstrukcji zostanie przedstawiona w dalszej części opracowania.



Rys. 4.7. Cokół, stan istniejący

4.4.3. Trzon

Trzon komina przybiera dwa różne przekroje. Podstawa trzonu jest o przekroju ośmiokąta o wymiarze boku 90 cm po zewnętrznej krawędzi. Wysokość odcinka podstawy trzonu wynosi: 68 cm. Jest wykonany z cegieł pełnych o wymiarach: 285 mm x 135 mm x 65 mm. W tej części komina zastosowano również wiązanie murowe – tzw. kowadełkowe. W tej strefie komin od strony zewnętrznej posiada liczne ubytki – zazwyczaj w postaci łuszczenia się cegły. Pośrodku ośmiokątnej podstawy trzonu znajduje się stalowa obejma, która stanowi dodatkowe wzmocnienie konstrukcji. Wykonana jest z płaskownika o wysokości 100 mm i szerokości 15 mm. Obecnie obręcz ta jest poluzowana, nie przylega do muru i nie spełnia swojej funkcji.

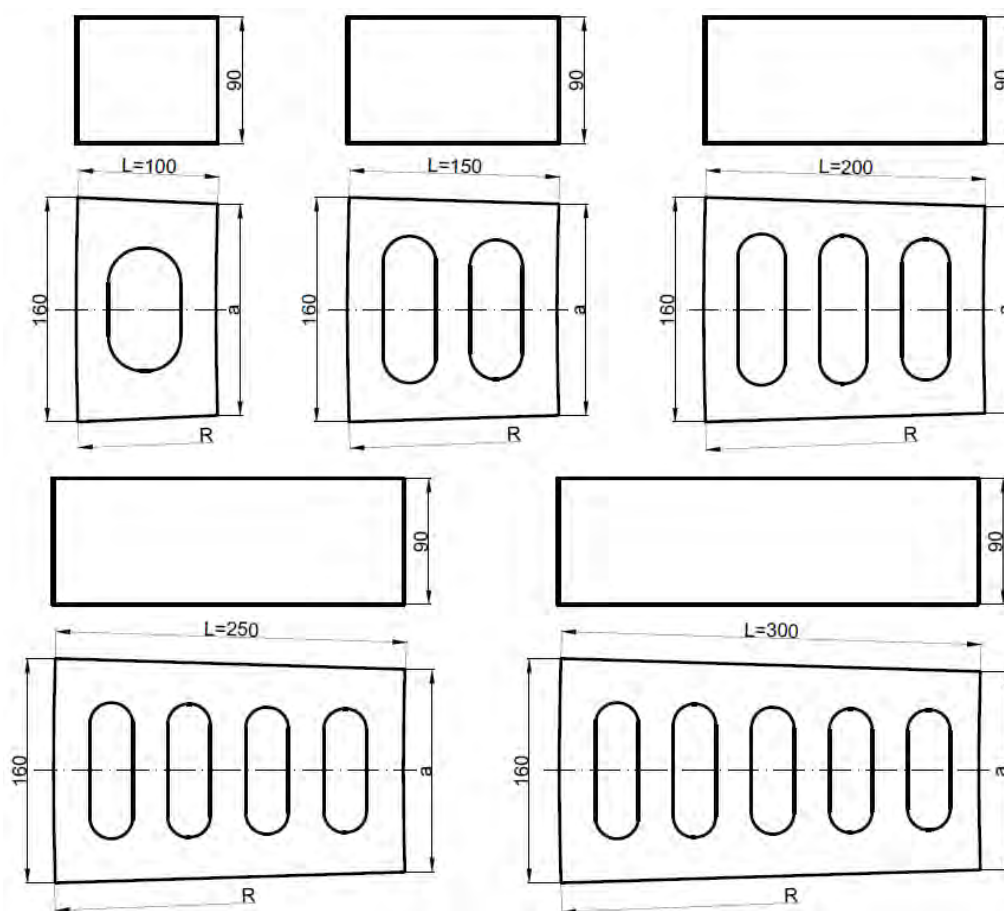
Główna część komina to zbieżny trzon o przekroju pierścienia kołowego. Średnica zewnętrzna przy podstawie wynosi $Dz1 = 2,29$ m, a w najwyższym punkcie komina średnica zewnętrzna

$Dz2 = 1,30$ m. Przy wylocie średnica wewnętrzna komina wynosi $Dw2 = 0,90$ m. Wewnątrz u podstawy trzonu średnica wynosi 1,20 m. Grubość muru trzonu zbieżnego jest stopniowo zmniejszana i wynosi od 0,53 m do 0,20 m. Zmiana grubości trzonu została zrealizowana poprzez wewnętrzne odsadzki oraz różne rodzaje cegły kominówki. Odsadzki są wykonane skokowo, po 5 cm w odstępach około 3 m po wysokości trzonu.

Komin zbudowano z cegły kominówki, która posiada kształt wycinka pierścienia kołowego. Zapewne zastosowano kilka rodzajów cegieł w zależności od tego na jakiej wysokości trzonu się znajdują. Wszystkie cegły posiadają taki sam wymiar zewnętrzny: 160 mm (szerokość główki) i 90 mm (wysokość główki), a różnią się jedynie długością. Poniższy rysunek przedstawia rodzaje cegieł używanych do budowy przedmiotowego komina [Rys. 4.8].

Murowanie przedmiotowego komina odbyło się zapewne z rusztowania usytuowanego wewnątrz obiektu. Metoda układania cegieł kominówek polegała na nieznacznym przesunięciu cegieł wyższej warstwy do środka komina względem niższej warstwy cegieł. Takie rozwiązanie realizowane było dzięki układaniu cegieł według przyjętego szablonu. Efektem układania odpowiednio warstw cegieł jest ich prawidłowe wiązanie w przekroju trzonu komina. Cegły przekładają się wzajemnie. Pionowa spoina pomiędzy cegłami leży na środku cegły znajdującej się powyżej a wiązanie przypomina standardowe naprzemienne ułożenie cegieł.

Spoiny, które występują w przedmiotowym kominie posiadają odpowiednie grubości. Grubość spoin poziomych mieści się między 10 mm (spoiny przy głowicy komina) a 15 mm (spoiny w dolnej części trzonu). Maksymalna dopuszczalna grubość spoin wynosi 15 mm. Spoiny pionowe również mieszczą się w wymaganym przedziale: między 8 mm a 20 mm w kierunku obwodu. Maksymalna grubość spoiny pionowej przedmiotowego komina wynosi 15 mm. Nie można jednoznacznie określić wiązania poziomego cegieł tworzących trzon komina. Zapewne przy wznoszeniu konstrukcji montowano wewnętrzne szczeble włazowe.



Rys. 4.8. Cegły kominówki wg. PN-B-12004:1999

Wymagania co do grubości muru (trzonu) zależą od średnicy zewnętrznej przy wylocie komina oraz wysokości obiektu. Przy średnicy przy wylocie o wartości nieprzekraczającej 2,0 m oraz wysokości komina do 40 m grubość ściany komina nie powinna być mniejsza od 20 cm. W opisywanym obiekcie wymagania te są spełnione. Najcieńszy mur jest grubości właśnie 20 cm i znajduje się na poziomie wylotu komina. W górnej części trzonu komina zastosowano pogrubienie ściany z uwagi na potrzebę prawidłowego wykształcenia głowicy oraz zamontowania instalacji odgromowej.

Na całej wysokości trzon został wzmocniony obręczami stalowymi o przekroju: 100 mm x 15 mm rozmieszczonymi co około 1,75 m. Ostatnia obejma (najwyższa) stanowi podstawę przymocowania instalacji odgromowej. Poniższe zdjęcie przedstawia ogólny widok trzonu komina [Rys. 4.9].



Rys. 4.9. Ogólny widok trzonu komina

4.4.4. Osprzęt (klamry, obręcze)

Od wnętrza komin wyposażony jest w stalowe szczelnie włazowe o średnicy $\varnothing 20$ mm. Rozstaw szczelnie wynosi 40 cm począwszy od poziomu około +1,5 m nad poziomem dna odpopielacza. Elementy ciągu włazowego na wysokości trzonu [Rys. 4.10], są stabilnie zamocowane (nie są poluzowane) i umożliwiają z odpowiednią asekuracją poruszanie się wewnątrz komina. Jedynie

ostatni szczebel (pierwszy od góry) jest poluzowany [Rys. 4.11], dlatego też nie należy z niego korzystać. Powierzchnia prętów stalowych, z których wykonano szczeble jest pokryta warstwą korozji. Nie stanowi to jednak zagrożenia dla ich użytkowania, pomijając szczebel na samej górze, który jest nieprzydatny to użytku.

Komin wyposażony jest w stalowe obręcze, które generalnie są w dobrym stanie. Nie posiadają uszkodzeń mechanicznych, wszystkie są odpowiednio zamocowane, a przede wszystkim nie są luźne. Naprawy wymaga zamocowanie obręcz na części komina o przekroju ośmiokąta, która za dopasowanie posiada kliny drewniane. Obręcze wykonane są z płaskowników stalowych o wymiarach: 100 mm x 15 mm rozmieszczone są na trzonie w odległościach od 1,75 m do 2 m. Obręcze są dwudzielne łączone śrubami. Należy zadbać jedynie o ich ochronę antykorozyjną, ponieważ korozja uwidacznia się na powierzchni wszystkich obręczy.



Rys. 4.10. Ciąg szczebli odpowiednio zamocowanych



Rys. 4.11. Poluzowany szczebel

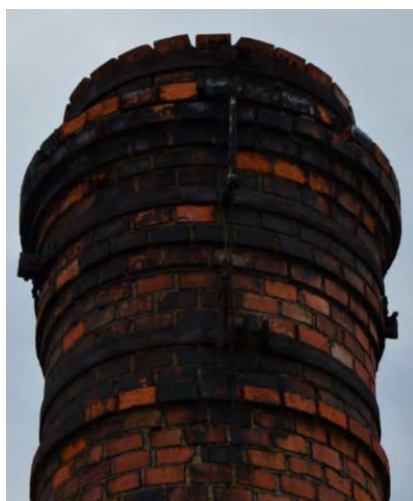
Obejmy stalowe komina znajdujące się na poziomie cokołu wykonane są z ceowników łączonych ścięgami. Zastosowano ceowniki: C100 w poziomie 1,60 m od poziomu terenu oraz C80 w poziomie 0,20 m od poziomu terenu. W obejmie wykonanej z C100 jako ściągi zastosowane pręty o średnicach 30 mm natomiast w obejmie z C80 jako ściągi zastosowano pręty o średnicy 20 mm.

Generalnie należy zadbać o prawidłowe zabezpieczenie antykorozyjne elementów stalowych całego obiektu. Elementy osprzętu stalowego, które znajdują się po zewnętrznej stronie komina są kompletne, nie wykazują uszkodzeń mechanicznych. Wymagają jedynie skasowania występującego obłuzowania a następnie odpowiedniego zabezpieczenia antykorozyjnego.

4.4.5. Instalacje

Komin wolnostojący zaliczany jest do kategorii obiektu ochrony odgromowej w wykonaniu specjalnym. Na prawidłową instalację odgromową komina składają się: zwód, przewód odprowadzający, przewody uziemiające oraz uziemienie.

Stan instalacji odgromowej w przedmiotowym kominie jest w bardzo zły stanie, i z całą pewnością nie jest skuteczny. Przedmiotowy komin jako obiekt murowany, powinien być wyposażony w zwód poziomy niski, który usytuowany powinien być na głowicy komina tuż przy jego górnej krawędzi zewnętrznej. W omawianym kominie wykonany został z pierścienia stalowego [Rys. 4.12]. Kolejny element instalacji odgromowej stanowi przewód odprowadzający. Wykonany został z linki stalowej ocynkowanej 7 x 2,5 mm, która spełnia wymagania normowe. Linka jest przymocowana do zewnętrznej powierzchni trzonu komina poprzez haki [Rys. 4.13], które rozmieszczone są co około 1,5 m. Linka jest luźno zawieszona i nie posiada jednak wymaganej ciągłości. W poziomie górnej krawędzi cokołu (+2,5 m nad poziomem terenu) linka jest przzerwana [Rys. 4.14]. Obecnie komin posiada tylko jeden przewód odprowadzający, przez co nie spełnia warunków normy, która wymaga na kominach murowanych wolnostojących zastosowania co najmniej dwóch takich przewodów. Instalacja odgromowa przedmiotowego komina jest zakończona nieprawidłowo. Jak już wspomniano nie zachowana jest ciągłość przewodu odprowadzającego oraz brak jest uziomu. Uziom powinien być wykonany zgodnie z zaleceniami normy. Na kominie nie są jednak zainstalowane żadne urządzenia elektryczne, teletechniczne oraz kontrolno-pomiarowe wymagające ochrony przed bezpośrednimi uderzeniami pioruna, dlatego też nie ma potrzeby instalowania dodatkowych zwodów odprowadzających. Generalnie obiekt wymaga wykonania nowej instalacji chroniącej od wyładowań atmosferycznych.



Rys. 4.12. Instalacja odgromowa, głowica komina



Rys. 4.13. Instalacja odgromowa, luźny przewód odprowadzający



Rys. 4.14. Instalacja odgromowa, brak ciągłości przewodu na wysokości cokołu komina

4.5. Przegląd techniczny komina

W ramach realizacji oceny stanu technicznego komina zostały przeprowadzone jego przeglądy w dniach: 09-15.05.2016 r., 13-16.09.2016 r. oraz 24-27.10.2016 r. Ocenę uszkodzeń zewnętrznych dokonano, poprzez obserwację przez lornetkę (nie było potrzeby wykonania przeglądu metodami alpinistycznymi ze względu na stosunkowo niski obiekt) a także na podstawie wykonanych fotografii. Przeprowadzono również bezpośrednie pomiary zewnętrzne dolnej części komina: cokołu, podstawy trzonu oraz kilku elementów trzonu znajdujących się w zasięgu możliwości mierzenia.

Dokonano również przeglądu wnętrza komina. Zanalizowano występujące zniszczenia ceramiki i zaprawy. Przegląd wnętrza komina nie polegał jedynie na ocenie występujących zniszczeń. W ramach przeglądu wykonano pomiary średnic wewnętrznych komina w dwóch poziomach (podstawa i głowica), średnicy zewnętrznej komina na poziomie wylotu komina a także pomiarów wysokości pomiędzy wewnętrznymi odsadzkami komina. Podczas przeglądu wnętrza komina wykonano dokumentację fotograficzną, która ilustruje problemy zniszczeń i destrukcji ceramiki oraz zaprawy.

4.5.1. Opis zewnętrznej powierzchni trzonu

Głowica komina od zewnątrz jest silnie zniszczona. Poddana silnym działaniom szkodliwych czynników atmosferycznych oraz eksploatacyjnych stanowi najbardziej zniszczoną część komina. Od zewnątrz zauważyć można ciemne przebarwienie cegieł, czarne naloty od dymu/ spalin które odprowadzane były w przeszłości przez komin. Widoczne naloty solne w tej części komina są wynikiem wysokiego zasolenia materiału ceramicznego. Rzadziej pojawia się łuszczenie się cegły, jej osypywanie się oraz rysy poszczególnych cegieł. Spoiny w ostatniej warstwie komina przy wylocie są prawie całkowicie wymyte (wyługowane). Nie spełniają funkcji spajania poszczególnych elementów murowych. Obręcz stalowa przy głowicy jest silnie skorodowana. W okolicach trzeciej obręczy stalowej od góry uwidacznia się poważna rysa. Stan głowicy komina jest niepokojący. Z uwagi na możliwość upadku z dużej wysokości fragmentów cegieł może on zagrażać bezpieczeństwu osób przebywających w bliskim sąsiedztwie obiektu. Aktualny stan głowicy komina przedstawia poniższa fotografia [Rys. 4.15].



Rys. 4.15. Głowica komina

W środkowej części trzonu [Rys. 4.16] nie występują istotne uszkodzenia, jednakże widoczne są zarysowania oraz lokalne mniejsze zniszczenia, które w większości przypadków dotyczą pojedynczych cegieł. Ogólny stan trzonu od zewnątrz jest w większości dobry, zauważalne są jednak drobne uszkodzenia, niespoistość zaprawy, pojedyncze krótkie rysy oraz spękania lic cegieł.

W tej części zewnętrzna powierzchnia trzonu narażona jest na oddziaływanie drzewa rosnącego obok komina.



Rys. 4.16. Widok zewnętrzny trzonu części środkowej

Cokół komina posiada liczne uszkodzenia oraz miejscami duże ubytki materiału ceramicznego. Na narożach, w górnej części cokołu, występują braki zaprawy spoinującej, co skutkuje odspojeniem się części cegieł od konstrukcji. Na ścianach cokołu pojawiają się znaczne białe przebarwienia, zmiany barwy cegieł a także zniszczenia lica cegieł przejawiające się łuszczeniem oraz osypywaniem się ceramiki.

Podczas oględzin zwrócono uwagę na brak spójności zaprawy. Występują lokalne ubytki i wykruszenia zaprawy spoinującej. W dolnej części cokołu widoczne są skutki cyklicznego rozmarzania i zamarzania konstrukcji. Wszystkie uszkodzenia komina zobrazowane są na rysunkach inwentaryzacyjnych, które jednocześnie stanowią ocenę ilościową uszkodzeń [**Załącznik nr 1 Rysunek 2**] [**Załącznik nr 1 Rysunek 3**].

4.5.2. Opis wnętrza komina

Ceramika wewnątrz komina jest silnie skorodowana [Rys. 4.17÷4.18]. Występują liczne białe przebarwienia, zmiany barwy cegieł (czarny kolor spowodowany sadzą) a także zapylenie cegieł. Trzon zwłaszcza w górnej części został poddany destrukcyjnym działaniom o charakterze ługującym. Skutkiem tych działań jest zły stan cegieł oraz ubytki spoiny. W kilku miejscach spoina została wypłukana w takim stopniu, że występuje prześwit między cegłami.



Rys. 4.17. Wnętrze trzonu komina



Rys. 4.18. Górna część wnętrza tronu komina

Od wnętrza głowica komina jest w bardzo złym stanie. W tej części ceramika została mocno zniszczona. Daleko idące skutki destrukcyjnego działania czynników zewnętrznych oraz odprowadzanych spalin doprowadziły w niektórych miejscach do całkowitej degradacji zaprawy między ceglami, co stanowi istotne zagrożenie. Cegły na samej górze (głowica komina) nie posiadają nawet odpowiedniego zamocowania, brak spoin skutkuje brakiem ciągłości muru, co pokazano na fotografiach [Rys. 4.19÷4.20]. Stanowi to istotne zagrożenie dla dalszego przebywania ludzi w bliskim sąsiedztwie obiektu.



Rys. 4.19. Prześwit między ceglami górnej części komina



Rys. 4.20. Degradacja zaprawy w spoinach. Ostatnia warstwa cegieł komina jest nie powiązana zaprawą

5. Badania komina

Dla prawidłowej analizy badanego obiektu niezbędna jest wiedza na temat zarówno parametrów wytrzymałościowych jak i stopnia degradacji materiałów, z których jest zbudowany. Podczas przeglądu komina zauważono niepokojące rysy, ubytki w spoinach oraz destrukcję ceramiki. Dla określenia stanu technicznego materiałów komina przeprowadzono szereg badań laboratoryjnych opisanych poniżej. W dalszej części przedstawiono również analizę uzyskanych wyników.

5.1. Analiza ilościowa zniszczeń elewacji zewnętrznej – ocena makroskopowa

Podczas oględzin dokonano analizy obiektu pod względem powstałych zniszczeń. Wszystkie zmiany powierzchniowe cegieł zostały zobrazowane na załączonych rysunkach. Dokumentacja ta przedstawia rozwinięcie zewnętrznego płaszcza trzonu komina oraz widoki na każdą pozostałą ścianę obiektu (środkowa część komina – podstawa trzonu o przekroju ośmiokąta oraz dolna część komina – cokół o przekroju kwadratowym) z zaznaczonymi miejscami występowania degradacji muru. Wyróżnić należy tutaj zniszczenia cegieł, które już na pierwszy rzut oka są widoczne, a ich ilość stanowi znaczną część całej powierzchni komina. Generalnie są to: łuszczenie się cegły [Rys. 5.1÷5.2], osypywanie się cegły [Rys. 5.3] oraz znaczne ubytki w materiale ceglanym. Zmiany powierzchniowe ceramiki występują zazwyczaj jako zniszczenie pojedynczych elementów (cegieł).

Zauważyć można, że pojedyncze cegły mogą być uszkodzone pomimo tego, że wokół nich wszystkie cegły pozostają w dobrym stanie. Istnieją cegły, które nie są zniszczone w całości a jedynie w jej części. Znaczy to, że proces destrukcji materiału już się zaczął i będzie postępował w przyszłości.



Rys. 5.1 Łuszczenie się cegły, strona wschodnia



Rys. 5.2. Łuszczenie się cegły, strona zachodnia



Rys. 5.3. Osypywanie się cegły

Poza wymienionymi już zniszczeniami, można zauważyć na ścianach cokołu przebarwienia cegły, a także pojawiający się biały nalot [Rys. 5.4]. Zmiany barwy cegieł zazwyczaj obserwowano w środkowej części powierzchni ścian cokołu, natomiast białe naloty występują niezależnie w różnych miejscach. Prawdopodobnie białe naloty są wynikiem nadmiernego zasolenia muru. Przebarwienia cegły (cegła o bardziej intensywnym kolorze) może wynikać z nadmiernej wilgoci muru w tych miejscach. Zmiana w kolorze cegły (na czarny kolor) najbardziej widoczna jest na górnej części każdej strony cokołu. Ciemna barwa cegły być może być zabrudzeniem (osiadanie pyłu wydobywającego się z komina) lub produktami wysoleń połączonymi z pyłami pochodzącymi ze środowiska.

Znajdujące się rysy, które również zaznaczono na rysunkach inwentaryzacyjnych, nie są liczne, jednakże w części cokołu ich rozwarcie jest znaczne [Rys. 5.5] i wynosi od 10 do 15 mm. Analizując wszystkie cztery ściany dolnej części komina zauważyć można, że spoiny w niektórych miejscach nie są prostopadłe, a cegły nie mają kształtu prostokątnego. Cegły są rozsunięte na około 1,5 cm. Ten obraz sygnalizuje powstanie głębokiej rysy pionowej na środkach dwóch ścian komina, które zostały w przeszłości wypełnione zaprawą. Prawdopodobnie przyczyną powstania tak znaczących rys były obciążenia termiczne.



Rys. 5.4. Białe naloty na murze



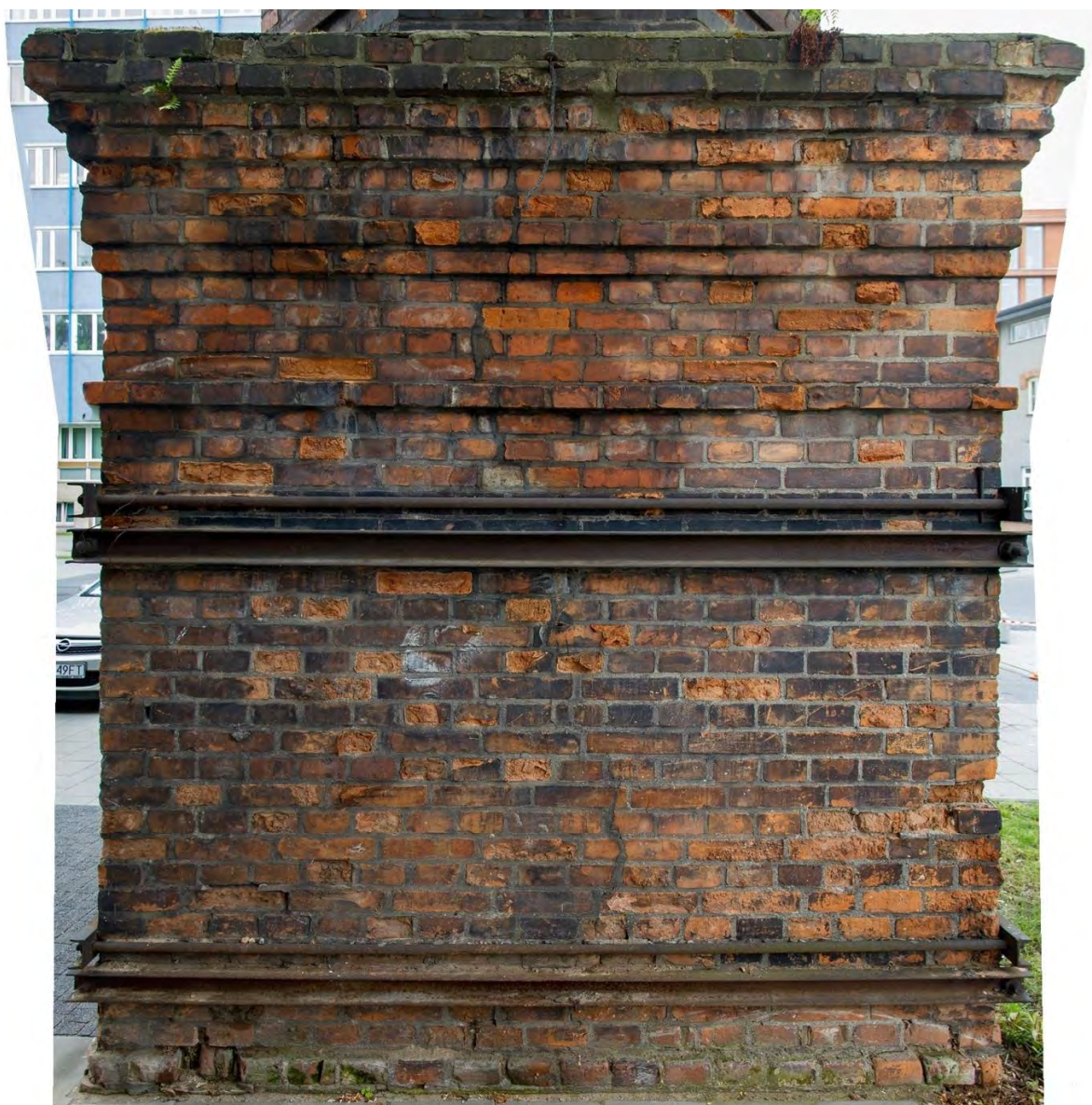
Rys. 5.5. Rysa pionowa

W niektórych miejscach widoczne są znaczne ubytki zaprawy między ceglami, co skutkuje zmniejszoną spójnością muru. Miejsc, w których spoina całkiem uległa destrukcji jest mało. Zazwyczaj są to górne naroża ścian dolnej części komina (cokołu). W tych właśnie miejscach spójność muru jest na tyle mała, że cegły mogą być niewielką siłą oderwane od krawędzi cokołu [Rys. 5.6]. Dodać należy, że cegły w dolnej części każdej strony komina (podstawa przy gruncie) noszą znamiona destrukcji spowodowanej cyklicznym zamrażaniem i odmrażaniem.



Rys. 5.6. Ubytek spoiny naroża cokołu

Do analizy ilościowej zniszczeń wzięto pod uwagę jedynie część dolną komina (cokół o przekroju kwadratowym) z tego względu, iż tam występuje najwięcej zmian widocznych na powierzchni cegieł. Stan istniejący analizowanych ścian przedstawiony jest na fotografiach zamieszczonych poniżej [Rys. 5.7÷5.10].



Rys. 5.7. Cokół, strona północna, stan istniejący

Na elewacji północnej dolnej części komina widocznej na rysunku 5.7 zniszczenia cegieł stanowią 23,4 % całej powierzchni ceramiki. Większość z nich to łuszczenie się cegły (17,7 % całej powierzchni), dopiero później osypywanie się cegły (3,4 % całej powierzchni) oraz znaczne ubytki elementów (2,3 % całej powierzchni). Widocznym jest, że destrukcja ceramiki dotyczy, w większości przypadków, pojedynczych cegieł. Najwięcej zniszczeń łuszczącej się cegły to skupisko w dolnej prawej części elewacji. Poza tym widoczny jest ubytek cegły na rogu ściany, w pobliżu wspomnianych zniszczeń, który jest wynikiem postępującego łuszczenia się ceramiki. Górna część ściany (cegły nieco wysunięte do przodu) mają barwę ciemniejszą. W centralnym miejscu ściany występuje zmieniona barwa ceramiki na kolor bardziej intensywny. Towarzyszy temu występujące w tych miejscach osypywanie się cegły. Przez środek ściany przebiega głęboka rysa, która już

wcześniej została poddana wypełnieniu. W dolnej części ściany po lewej stronie widać znaczny ubytek muru (być może spowodowany działaniem mechanicznym).



Rys. 5.8. Cokół, strona wschodnia, stan istniejący

Kolejna ściana – wschodnia podobnie jak poprzednia posiada w swej górnej części zmienioną barwę cegieł na ciemniejszą. Najbardziej zmienioną barwę cegły zaobserwowano w środkowej części ściany. Ewidentnie kolor ceramiki w tym miejscu jest bardziej intensywny od pozostałych. Prawdopodobnie jest wynikiem nadmiernej wilgoci występującej w tym miejscu. Towarzyszy temu biały nalot na ceglach. Dwie dolne warstwy cegieł są mocno zniszczone najprawdopodobniej w wyniku cyklicznego zamarzania i rozmarzania materiału. Zniszczenia – łuszczenie, osypywanie oraz ubytki cegieł – stanowią 22,3 % całej powierzchni ceramiki na tej ścianie. Łuszczenie się cegły

stanowi największy procent zniszczeń (12 % całej powierzchni), potem osypywanie się cegły (9,3 % całej powierzchni) i znaczne ubytki (1 % całej powierzchni ceramiki). Na ścianie wschodniej nie występują znaczne rysy, które zwracałyby szczególną uwagę. Istnieją jedynie mikropęknięcia pojedynczych cegieł.



Rys. 5.9. Widok 3-3, strona południowa, stan istniejący

Na stronie południowej, na górnej części ściany, występuje poważny ubytek trzech cegieł. Po prawej stronie na narożu – widoczny jest brak spoin, który powoduje rozluźnienie muru w tym miejscu. Poza tym, dolne warstwy muru również posiadają ubytki materiału i występują częściowe braki zaprawy w spoinach. Ubytki oraz znaczne braki ceramiki stanowią 1,8 % całej powierzchni cegieł na stronie południowej. Po prawej stronie, pomiędzy ceownikami widać nalot, prawdopodobnie zaprawy cementowej, który nie był planowanym zabiegiem. W centralnej części

występuje biały nalot świadczący o silnym zasoleniu muru. Przez całą długość ściany ciągnie się pionowa rysa o rozwarości sięgającej do 1,5 cm. Poza wymienionymi już zniszczeniami występują także: łuszczenie cegły (stanowiące 14,8 % całej powierzchni ceramiki) oraz osypywanie się cegły (stanowiące 4,8 % całej powierzchni ceramiki). Na stronie południowej całość ubytków stanowi 21,4 % powierzchni ceramiki. Jest to najmniej zniszczona ściana z wszystkich czterech ścian cokołu.



Rys. 5.10. Widok 4-4, strona zachodnia, stan istniejący

Ściana zachodnia jest najbardziej zniszczona. Powierzchnia ceramiki, która uległa destrukcji wynosi 25,1 %. Największą część zniszczeń stanowi łuszczenie się cegły (17,1 % całej

powierzchni), następnie osypywanie się cegły (7,5 % całej powierzchni) oraz ubytki, które stanowią zaledwie 0,5 % całej powierzchni. Znaczna część górnej strefy ściany charakteryzuje się osypywaniem cegły. Nieco niżej tj. w środkowej części występuje biały nalot. Nad dolnym ceownikiem z prawej strony widać kumulację łuszczenia się cegły. Poza tym miejscem, również występują pojedyncze elementy poddane tego rodzaju destrukcji. Pionowa rysa, która znajduje się na środku wzdłuż całej długości ściany i sięga rozwarości 1,5 cm. Jej wstępna naprawa polegała jedynie na zaklejeniu rozwarcia.

Wszystkie cztery analizowane strony cokołu komina wykazują podobny odsetek zniszczeń. Stanowi on około 22% całej powierzchni cegieł. Dla każdej ściany najczęstszą formą destrukcji jest łuszczenie się cegły. Ciemna zmiana barwy występuje zazwyczaj w górnej części ściany cokołu, natomiast przebarwienia, białe naloty – w środkowej, centralnej części ściany. Szczegółowe informacje o procentowym udziale zniszczeń w powierzchni cegieł na każdej stronie cokołu komina przedstawia poniższa **Tabela 5.1.**

Tabela 5.1. Procentowy udział zniszczeń w powierzchni ceramiki

Ściana cokołu	Zniszczenia [%]	Łuszczenie [%]	Osypywanie [%]	Ubytki [%]
Północna	23,4	17,7	3,4	2,3
Wschodnia	22,3	12,0	9,3	1,0
Południowa	21,4	14,8	4,8	1,8
Zachodnia	25,1	17,1	7,5	0,5

5.2. Pobranie próbek z konstrukcji komina

Badania przeprowadzono na próbkach pobieranych zarówno z formie powierzchniowych odkuwek jaki i odwiertów rdzeniowych.

Do określenia stopnia skażenia cegły oraz zaprawy próbki zostały pobrane z czterech miejsc cokołu. Pobór próbek polegał na odłupaniu odpadających części cegieł lub wkucia się w przypowierzchniową warstwę cegły lub zaprawy [**Rys. 5.11**]. Pozyskany w ten sposób materiał wykorzystano w badaniach chemicznych.



Rys. 5.11. Pobrane próbki (odkuwki) z dolnej części komina (cokół i podstawa trzonu)

W trakcie prowadzenia przeglądu we wnętrzu komina w podobny sposób pozyskano fragmenty cegły i zaprawy z rejonu wylotu komina. Na poniższych rysunkach pokazano pobrałe fragmenty cegieł i zapraw [Rys. 5.12] oraz przykładowe miejsce pobrania próbek [Rys. 5.13].



Rys. 5.12. Odkuwki z głowicy komina zaprawa i ceramika (od lewej)



Rys. 5.13. Lokalizacja poboru odkuwek z wnętrza głowicy komina

Dla uzyskania materiału do wykonania badań wytrzymałościowych ceramiki oraz zaprawy wykonano odwierty rdzeniowe. Odwierty zostały wykonane od strony północnej komina. Pierwszy odwiert wykonano blisko pionowej osi cokołu, natomiast drugi odwiert wykonano w poziomie trzonu komina (o przekroju okrągłym). Odwierty wykonano na dwóch poziomach ze względu na różne rodzaje cegieł w zależności od wysokości komina (w dolnej części cegła pełna, a w części trzonu cegła kominówka). Wiertnica, którą wykonywano odwierty, wyposażona była w wiertło koronowe do wycinania rdzeni o średnicy 100 mm. Odwierty zostały wykonane prostopadle do ścian komina na głębokość odpowiadającą grubości ściany. Dało to możliwość określenia grubości trzonu w przekrojach. Poniższa fotografia przedstawia pobieranie próbek z muru przedmiotowego komina [Rys. 5.14].



Rys. 5.14. Wykonywanie odwiertu, cokół – ściana północna, cegła pełna

Odwiert nr 1 został wykonany pomiędzy 22 a 23 warstwą cegły licząc od góry cokołu. W miejscu wykonania odwiertu cokół ma grubość kilku cegieł pełnych i wynosi około 80 cm. Poniższe fotografie przedstawiają: ścianę północną z miejscem po pobraniu odwiertu [Rys. 5.15] i pobrany odwiert [Rys. 5.16].



Rys. 5.15. Miejsce wykonania odwiertu nr 1, ściana północna



Rys. 5.16. Odwiert cegły pełnej, cokół

Pobrany odwiert 1 wykazuje brak spójności na grubości trzonu [Rys. 5.16]. Zaprawa jest na tyle słaba, że nie spełnia roli materiału spoinującego.

Odwiert nr 2 zlokalizowany jest między 9 a 10 warstwą cegły kominówki licząc od dołu pierścieniowego trzonu. W miejscu wykonania odwiertu na grubość ściany trzonu składają się dwie cegły kominówki, przy czym zewnętrzna cegła jest długości 31 cm, natomiast wewnętrzna 20 cm. Łącznie razem ze spoiną mur w tym miejscu ma grubość 53 cm.

Przy wyborze miejsca wykonania odwiertu zakładano pozyskanie próbki muru zawierającej dwa fragmenty cegły połączonej spoiną. Uzyskanie takiej próbki nie powiodło się z uwagi na nikłą zwięzłość zaprawy w spoinie poziomej. Pobrany materiał wykorzystany został do przeprowadzenia badań wytrzymałości na ściskanie ceramiki, zaprawy a także do badań określających gęstość pozorną materiału. Poniżej pokazano miejsce wykonania odwiertu nr 2 o średnicy 100 mm, a także widok pobranej próbki [Rys. 5.17÷5.19].



Rys. 5.17. Lokalizacja odwiertu nr 2



Rys. 5.18. Widok wykonanego odwiertu od wewnętrznej strony komina



Rys. 5.19. Odwiert nr 2 pobrany z trzonu komina, cegła kominówka

Podczas budowy podziemnego zbiornika przeciwpożarowego znajdującego się w bliskim sąsiedztwie przedmiotowego komina, w sposób celowy został odsłonięty fundament komina. Dzięki temu zabiegowi nie tylko uzyskano wiedzę na temat kształtu posadowienia obiektu, ale również pobrano fragmenty muru do badań materiałowych. Poniższe fotografie [Rys.5.20÷5.21] przedstawiają miejsce pobrania, a także fragment pobranej cegły, z której przygotowano próbki do dalszych badań.



Rys. 5.20. Lokalizacja poboru próbki ceramiki z fundamentu komina



Rys. 5.21. Fragment cegły pobranej z fundamentu komina z którego przygotowano próbki do badań

5.3. Określenie wilgotności próbek

Oznaczenie wilgotności wykonano dla próbek pobranych z dolnej części przedmiotowego komina tj. cokołu jak również dla próbek pochodzących w formie odwiertów, wykonanych w wyższych partiach komina. Pobrane próbki z cokołu oraz podstawy trzonu, zostały bezpośrednio po pobraniu zważone a następnie wysuszone do stałej masy. Po wysuszeniu próbki zostały ponownie zważone. Na tej podstawie uzyskano wyniki wilgotności materiałów (**Tabela 5.2**).

Tabela 5.2. Wilgotność badanych próbek

Lokalizacja pobrania próbki	Identyfikacja próbki	Material	Wilgotność [%]
Cokół	P1	cegła	7,4
		zaprawa	4,2
	P2	cegła	12,8
		zaprawa	3,4
	P3	cegła	5,2
		zaprawa	2,7
	P4	cegła	3,8
		zaprawa	2,7
Cokół	O1	cegła	13,5
Trzon	O2	cegła	10,6

Uzyskane wyniki badań materiałów pobranych z różnych wysokości komina wskazują na wyraźnie zróżnicowany stopień zawilgocenia tj. od dopuszczalnej wilgotności muru w zakresie 0-3% do muru mokrego powyżej 12%. Obecność wilgoci sprzyja transportowi rozpuszczonych soli w materiale i ich krystalizacji w momencie samoistnego osuszenia komina, co sprzyja destrukcji cegły i zaprawy.

5.4. Określenie pH i stopnia skażenia

Do badań chemicznych z pobranych próbek materiałów poprzez odseparowanie przygotowano ceramikę i zaprawę. Następnie materiały zostały rozdrobnione i użyte do przygotowania ekstraktów wodnych tak, by stosunek: zmielony materiał / woda destylowana wynosił 1:5. Po 48 godzinach próbki przesączono, by otrzymać klarowny roztwór potrzebny do dalszych analiz. Badanie odczynu wykonano przy pomocy pehametru CP-411 Elmetron.

W badaniach chemicznych określono również zawartość:

- jonów chlorkowych, testem MERCK wiążąc je w HgCl_2 (metoda merkurometryczna),
- jonów siarczanowych, metodą spektrofotometryczną (spektrofotometr Aqualytic AL800),
- jonów azotanowych, paskami analitycznymi firmy Merckoquant.

Zaprawa i cegła ceramiczna w kominach murowanych wraz z upływem czasu ich eksploatacji ulegała systematycznemu skażeniu, czego efektem jest pogorszeniem właściwości użytkowych.

Skażenie tych materiałów jest wynikiem oddziaływania agresywnych składników odprowadzanych spalin. Skutkiem ich działania są procesy degradacji między innymi charakterystyczne dla korozji kwasowej i siarczanowej. Dotyczy to zarówno cegły ceramicznej jak i zaprawy, przy czym jak zaobserwowano materiałem mniej odpornym na działanie tego środowiska jest zaprawa.

5.5. Badania wytrzymałościowe

Badania wytrzymałości materiałów w konstrukcji istniejących obiektów jest istotnym elementem prowadzącym do określenia, czy analizowany obiekt posiada odpowiednie parametry, aby nadal pełnić swoją funkcję.

Najczęściej stosowaną metodą określającą wytrzymałość na ściskanie muru jest badanie wytrzymałości poszczególnych kompozytów (cegły i zaprawy) konstrukcji, a następnie odniesienie pozyskanych wyników do całości konstrukcji. Podstawowym parametrem, który ma znaczący wpływ na wytrzymałość muru, jest wytrzymałość na ściskanie cegły.

W przypadku przedmiotowego komina wytrzymałość została określona na odpowiednio przygotowanych próbkach cegły oraz zaprawy, które zostały pobrane bezpośrednio z komina.

Zazwyczaj badanie określające wytrzymałość na ściskanie muru przeprowadzane jest na odwiercie o średnicy co najmniej 100 mm, który zawiera dwie części cegieł oraz warstwę spoinującej zaprawy. Niestety dla omawianego komina ze względu na bardzo słabą spójność zaprawy z ceramiką badania takie były niemożliwe do wykonania.

Pozyskane materiały z konstrukcji pozwoliły jednak na określenie wytrzymałości na ściskanie osobno dla ceramiki i osobno dla zaprawy. W przypadku ceramiki przygotowano próbki w postaci walców o średnicy 30 mm i wysokości równej średnicy. Do przeprowadzenia badań wytrzymałościowych zaprawy przygotowano fragmenty, które nie były zespolone z ceramiką i łatwo odspajały się od pozostałej części muru. Fotografije [Rys. 5.22÷5.23] przedstawiają odpowiednio przygotowane próbki ceramiki do badań wytrzymałościowych.



Rys. 5.23. Próbkę walcowe przygotowane do badań wytrzymałości, cegła pełna pobrana z cokołu



Rys. 5.24. Odwierty rdzeniowe przygotowane do badań wytrzymałości, cegła kominówka (trzon)

Próbki ceramiki do badań wytrzymałościowych zostały uzyskane poprzez wycięcie odwiertów z większych elementów ceramiki, zazwyczaj ze środkowej części cegły. Siła przyłożona do próbek podczas badania była równoległa do działania obciążenia w murze. Poniższa fotografia [Rys. 5.25] przedstawia stanowisko podczas wykonywania badań wytrzymałości na ściskanie ceramiki przedmiotowego komina.



Rys. 5.25. Stanowisko do badań próbek rdzeniowych ceramiki o średnicy 30mm

Badanie wytrzymałości na ściskanie zaprawy zostało przeprowadzone metodą stempla. Próbek zaprawy to oddzielenie od elementów ceramicznych fragmenty spoin poziomych. Powierzchnie próbki, do których dołożono stemple, zostały wyrównane cienką warstwą gipsu. Do tak przygotowanej powierzchni przykładano stalowe stemple o średnicy 20 mm. Poniższe fotografie przedstawiają schemat badania wytrzymałości na ściskanie zaprawy [Rys. 5.26].



Rys. 5.26. Sposób wykonaniem badania wytrzymałości zaprawy

Badania wytrzymałościowe na ściskanie zarówno cegły jak i zaprawy wykonano dla próbek pobranych z cokołu i z trzonu komina. Dla fundamentu wykonano jedynie badania wytrzymałości

ceramiki. Próbki walcowe o średnicy 30 mm przygotowane zostały z fragmentu cegły pochodzącej z podziemnej części konstrukcji komina [Rys. 5.27].



Rys. 5.27. Próbki rdzeniowe ceramiki o średnicy 30mm pochodzące z fundamentu komina

6. Wyniki badań i ich analiza

6.1. Badania materiałowe zewnętrznej powierzchni ścian cokołu komina

Badania chemiczne pozwalające na określenie stopnia skażenia cegły i zaprawy na powierzchni zewnętrznej cokołu komina przeprowadzone zostały dla próbek pobranych w formie odkuwek z każdej ściany. Uzyskane wyniki badań przedstawiono poniżej [Tabela 6.1].

Tabela 6.1. Wyniki badań chemicznych odkuwek pobranych z powierzchni cokołu komina

Lokalizacja pobrania próbki	Materiał	pH	Siarczany [% masy]	Chlorki [% masy]	Azotany [% masy]
Zewnątrz cokołu ściana północna	ceramika	7,7	2,14	0,16	0,25
	zaprawa	7,9	1,16	0,06	0,25
Zewnątrz cokołu Ściana wschodnia	ceramika	7,7	1,06	0,18	0,20
	zaprawa	7,9	0,90	0,20	0,25
Zewnątrz cokołu ściana południowa	ceramika	7,6	1,10	2,04	0,25
	zaprawa	8,4	0,98	0,10	0,30
Zewnątrz cokołu ściana zachodnia	ceramika	8,2	0,88	0,36	0,20
	zaprawa	9,6	0,75	0,17	0,20

6.2. Badania materiałowe wnętrza trzonu komina

Badania chemiczne pozwalające na określenie stopnia skażenia cegły i zaprawy we wnętrzu trzonu komina przeprowadzone zostały dla próbek pobranych w formie odkuwek z czterech miejsc wewnątrz z różnych wysokości trzonu. Uzyskane wyniki badań przedstawiono poniżej [Tabela 6.2].

Tabela 6.2. Wyniki badań chemicznych próbek pobranych z wnętrza trzonu komina

Lokalizacja pobrania próbki	Material	pH	Siarczany [% masy]	Chlorki [% masy]	Azotany [% masy]
Głowica	zaprawa	6,9	1,91	0,04	0,03
	ceramika	5,6	1,22	0,03	0,05
Poziom + 23 m	ceramika	4,3	2,95	0,08	0,10
Poziom + 7,7 m	ceramika	4,1	4,00	0,03	0,03

6.3. Badania materiałowe w przekroju trzonu komina

Dla odwiertu nr 2 (pobranego z trzonu komina) wykonano badania chemiczne (badania ceramiki i zaprawy z zewnątrz komina i wewnątrz) [Tabela 6.3], badania wytrzymałości na ściskanie materiału ceramicznego w cegle kominówce [Tabela 6.4] oraz badania wytrzymałości na ściskanie zaprawy z trzonu komina [Tabela 6.5].

Tabela 6.3. Wyniki badań chemicznych próbek przygotowanych z odwiertu nr 2 wykonanego w trzonie

Lokalizacja pobrania próbki	Material	pH	Siarczany [% masy]	Chlorki [% masy]	Azotany [% masy]
Zewnątrz trzonu	ceramika	7,1	0,21	0,01	brak
	zaprawa	8,2	0,17	0,03	0,01
Wnętrze trzonu	ceramika	5,7	4,61	0,02	brak
	zaprawa	8,3	0,18	0,02	brak

Tabela 6.4. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie materiału ceramicznego określonej na próbkach $\varphi=h=30\text{mm}$, przygotowanych z odwiertu nr 2 pobranego w trzonie

Identyfikacja próbki	Gęstość pozorna [g/cm³]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
TC1	1,69	33,7
TC2	1,67	26,5
TC3	1,70	29,6
TC4	1,71	27,9
średnia	1,69	29,4

Tabela 6.5. Wyniki wytrzymałości na ściskanie zaprawy określona metodą stempla $\varphi=20\text{mm}$, na próbkach przygotowanych z odwiertu nr 2 wykonanego w trzonie

Identyfikacja próbki	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
TZ1	1,23
TZ2	1,76
TZ3	1,26
średnia	1,42

6.4. Badania materiałowe w przekroju cokołu komina

Dla odwiertu nr 1 pobranego w dolnej części (cokole) komina wykonano badania chemiczne [Tabela 6.6], badanie wytrzymałości na ściskanie materiału ceramicznego [Tabela 6.7], oraz badanie wytrzymałości na ściskanie zaprawy [Tabela 6.8].

Tabela 6.6. Wyniki badań chemicznych próbek przygotowanych z odwiertu nr 1 wykonanego w cokole

Lokalizacja pobrania próbki	Materiał	pH	Siarczany [% masy]	Chlorki [% masy]	Azotany [% masy]
Zewnątrz trzonu	ceramika	7,5	1,06	0,12	0,50
	zaprawa	7,8	0,21	0,07	0,25
Wnętrze trzonu	ceramika	5,2	2,32	0,18	0,50
	zaprawa	6,6	1,57	0,15	0,25

Tabela 6.7. Wytrzymałość na ściskanie materiału ceramicznego określona na próbkach $\phi = h = 30$ mm, przygotowanych z odwiertu nr 1 wykonanego w cokole

Miejsce pobrania próbki	Identyfikacja próbki	Gęstość pozorna [g/cm ³]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
Zewnątrz trzonu	C1	1,63	17,4
	C2	1,66	20,8
	C3	1,63	20,7
	średnia	1,64	19,6
Wnętrze trzonu	C1	1,68	21,1
	C2	1,66	20,5
	C3	1,62	16,6
	średnia	1,65	19,4

Tabela 6.8. Wytrzymałość na ściskanie zaprawy określona metodą stempla $\phi = 20$ mm, na próbkach przygotowanych z odwiertu nr 1 wykonanego w cokole

Identyfikacja próbki	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
CZ1	1,38
CZ2	1,96
CZ3	2,04
średnia	1,79

6.5. Badania fundamentu komina

Badania materiałów pochodzących z fundamentu komina przeprowadzono na odkuwkach. Określono skażenie chemiczne ceramiki i zaprawy [Tabela 6.9], a także przeprowadzono określenie wytrzymałości na ściskanie cegły na podstawie odwiertów o średnicy 30 mm [Tabela 6.10].

Tabela 6.9. Wyniki badań chemicznych odkuwek pobranych z fundamentu komina

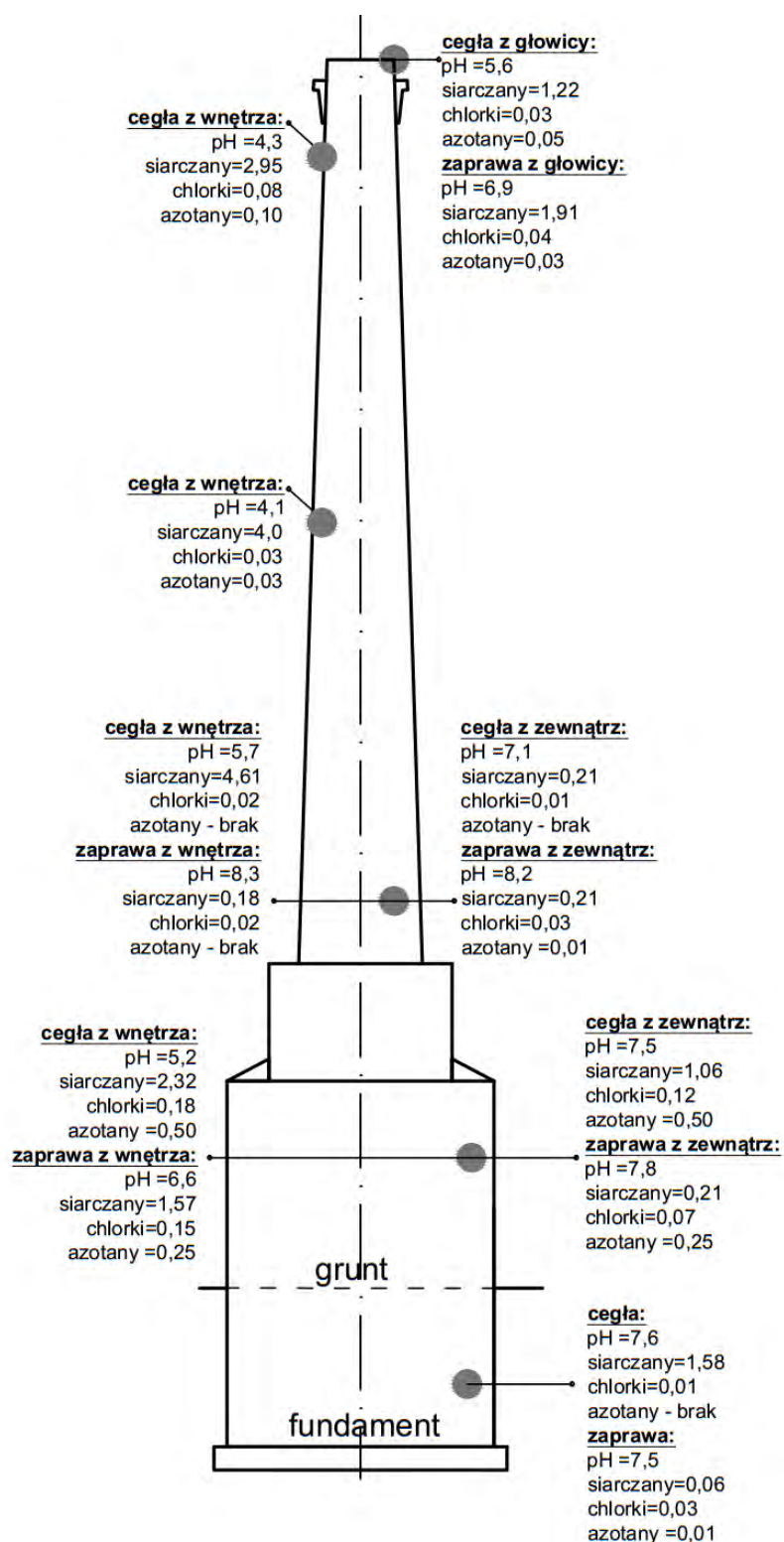
Lokalizacja pobrania próbki	Material	pH	Siarczany [% masy]	Chlorki [% masy]	Azotany [% masy]
Zewnątrz fundamentu	ceramika	7,6	1,58	0,01	brak
	zaprawa	7,5	0,06	0,03	0,01

Tabela 6.10. Wytrzymałość na ściskanie cegły określona na próbkach $\phi = h = 30\text{mm}$, przygotowanych z fragmentów cegieł pobranych z fundamentu

Identyfikacja próbki	Gęstość pozorną [g/cm ³]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
F1	1.66	11,5
F2	1.76	14,3
F3	1.68	10,8
średnia	1,70	12,2

6.6. Podsumowanie otrzymanych wyników laboratoryjnych

Zbiorcze zestawienia wyników badań chemicznych wraz z usytuowaniem miejsc pobierania materiału badawczego przedstawiono na **Rysunku 6.1.**



Rys. 6.1. Wyniki badań chemicznych w odniesieniu do miejsca pobrania próbek

Według literatury odczyn świadczący o dobrym stanie zachowania materiału powinien być wyższy od 7 dla cegieł i wyższy od 10 dla zapraw. Wartości pH w zakresie dopuszczalnym wykazano dla ceramiki pobranej z poziomu fundamentu, z cokołu zewnątrz, z trzonu oraz z głowicy

po zewnętrznej stronie komina. Niższe wartości pH, około 4, występują w ceramice badanej wewnątrz komina w górnej jego części tj. w segmencie I i IV, co świadczy o odczynie kwaśnym ceramiki w tej części. Niski odczyn cegieł w zakresie $4,1 \div 7,6$ wskazuje na obecność kwasowych produktów korozji.

Odczyn zapraw mieści się w zakresie $6,6 \div 8,3$ co oznacza, że jest to materiał silnie odalkalizowany, znacznie poniżej wartości wymaganej. Najwyższe wartości pH zarówno dla ceramiki jak i dla zaprawy występują w dolnej części komina. Wraz ze wzrostem wysokości, z której pobierano próbki odczyn materiałów ulegał zmniejszeniu.

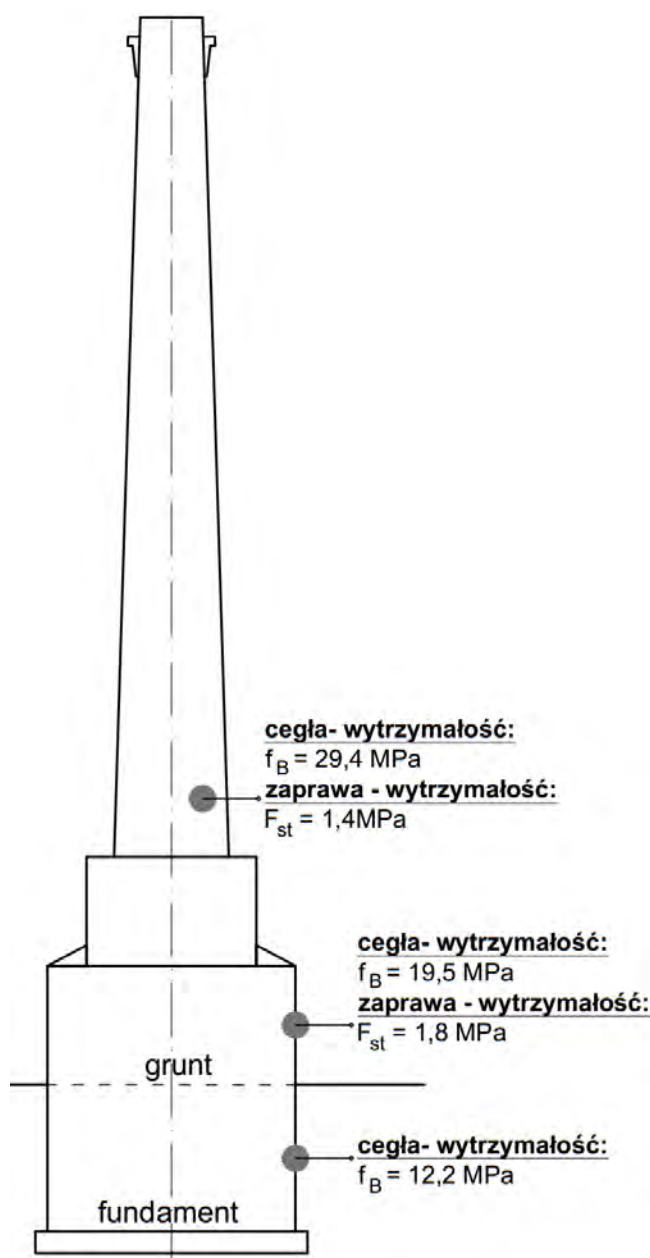
Zawartość jonów SO_4^{2-} w pobranych ceglach zasadniczo mieści się w zakresie $0,21 \div 4,61$ % masy próbki, przy czym wyższe wartości uzyskano dla ceramiki pochodzącej z wnętrza komina, które wynosiły $1,57 \div 4,61$ % masy, natomiast niższe na poziomie $0,21 \div 1,22$ % masy dla ceramiki pobranej od zewnętrznej strony komina. Zawartość siarczanów na poziomie 5% masy próbki może skutkować zniszczeniem cegły.

W badanych zaprawach zawartość jonów SO_4^{2-} wynosi $0,06 \div 1,57$ % masy próbki, przy czym większość badanych próbek posiada zawartość jonów siarczanowych powyżej 1 % masy próbki. Niższa zawartość siarczanów w zaprawie względem zawartości w badanych ceglach może wynikać z większego stopnia destrukcji zaprawy w wyniku produktów korozji siarczanowej (materiał wykrusza się) lub korozji kwasowej (materiał rozpuszcza się), zatem mierzona zawartość SO_4^{2-} może być wartością zaniżoną. Silny stopień destrukcji materiału spoinującego jest wynikiem korozji kwasowej zaprawy, korozji siarczanowej oraz procesu karbonatyzacji, czego efektem jest utrata zwięzłości materiału.

Zawartość jonów Cl^- w pobranych próbkach cegieł i zapraw wynosi odpowiednio $0,01 \div 2,04$ % masy próbki dla ceramiki oraz $0,02 \div 0,20$ % masy próbki dla zaprawy. Ich obecność sprzyja destrukcji materiału oraz ze względu na silnie higroskopijny charakter wzrostowi wilgotności muru i utrudnia osuszanie.

W większości badanych próbek zawartość jonów NO_3^- wskazuje na znikome wartości tj. poniżej 0,05 % masy próbki, a w niektórych przypadkach, nawet ich brak. Maksymalną zawartość azotanów w cegle i w zaprawie wykazano w próbkach pobranych z cokołu komina i wynosi ona $0,20 \div 0,50$ % masy próbki

W badaniach fizyko-mechanicznych cegieł i zapraw pobranych z trzonu i cokołu komina określono gęstość pozorną oraz wytrzymałość na ściskanie. Natomiast z fundamentu do badań pobrano tylko cegłę. Uzyskane wyniki badań wytrzymałościowych przedstawiono na **Rysunku 6.2.**



Rys. 6.2. Parametry wytrzymałościowe cegły i zaprawy w odniesieniu do lokalizacji pobranych próbek

Wyniki przedstawione na powyższym rysunku stanowią średnie wartości określone na podstawie przynajmniej trzech próbek. Największą wytrzymałością, na poziomie 29,4 MPa, charakteryzuje się cegła kominówka. Z kolei wytrzymałość cegły pełnej pobranej z cokołu komina wynosi średnio 19,5 MPa, przy czym nie stwierdzono istotnych różnic wytrzymałości cegieł pobranych od wewnątrz i zewnątrz cokołu. Najmniejszą wytrzymałość na ściskanie określono na próbkach cegły pobranej z fundamentu komina, która wynosi 12,2 MPa.

Wytrzymałość na ściskanie zaprawy wykonano metodą stempla na fragmentach pobranych z odwiertów wykonanych w cokole i trzonie komina. Wytrzymałość na ściskanie zapraw wynosi odpowiednio 1,8 MPa dla cokołu oraz 1,4 MPa dla trzonu komina. Warto zaznaczyć, że zaprawa

pobrana z wnętrza komina jest bardzo zniszczona i zdegradowana, w związku z powyższym w badaniach uwzględniono przede wszystkim zewnętrzną część zaprawy. Jak wspomniano wcześniej silny stopień degradacji zaprawy w najwyższych partiach obiektu powoduje bardzo słabe zespolenie cegieł.

7. Analiza operatu geodezyjnego

Zakres analizy konstrukcji kominów obejmuje również ocena geodezyjna. Zawiera ona pomiary polegające przede wszystkim na sprawdzeniu przemieszczenia trzonu komina w odniesieniu do jego osi pionowej oraz nierównomiernego osiadania obiektu. W wyniku działania nierównomiernego osiadania fundamentów, działania środowiska oraz w procesie nierównomiernego nagrzewania się ścian obiektu może nastąpić wychylenie komina z osi. Przy kominach ceramicznych odchyłki od osi pionowej spowodowane mogą być także zmniejszeniem wytrzymałości materiału, z których został wykonany, a zwłaszcza zaprawy. Deformacje takie wystąpić mogą po długim czasie eksploatacji komina. Otrzymane wyniki należy poddać szczegółowej analizie, która polega na porównaniu wartości odchyłek z poprzednimi badaniami (z lat wcześniejszych) oraz z dopuszczalnymi wartościami przechylenia komina w zależności od jego wysokości. Aby porównać pomiary okresowe komina najlepiej jest przeprowadzić pomiary z tych samych miejsc co poprzednio. Jeśli okolice mierzonego obiektu nie są zbyt gęsto zabudowane należy zwrócić uwagę, że najlepiej jest wykonać pomiary z trzech kierunków przecinających się pod kątem bliskim 120° .

Operat geodezyjny, na podstawie którego dokonano analizy wychylenia osi przedmiotowego komina został opracowany 11 września 2014 roku przez geodetę p. Artura Kędzierskiego [Załącznik nr 2]. Zawiera on fragment mapy, pokazujący usytuowanie obiektu, szczegółowe wyznaczenie osi, w których wykonane są pomiary, wymiary elementów komina, odchylenia osi wraz z wartościami a także wykaz współrzędnych, który pokazuje zbiorcze zestawienie pomiarów na różnych wysokościach. W przedstawionym operacie geodezyjnym zaznaczone zostały trzy osie komina, w których dokonano pomiarów wychyleń. W tej analizie pomierzono jedynie wychylenie z osi komina. Nie podjęto oceny dotyczącej osiadania obiektu z uwagi na brak wcześniejszych pomiarów tego rodzaju.

W omawianym operacie geodezyjny określono wychylenie wierzchołka komina o wartościach odpowiednio: +3 cm na osi I, -2 cm na osi II oraz -1 cm na osi III. Nie jest możliwe ustalenie, czy wychylenia różnią się w czasie lub czy następuje zmiana kierunku wychylenia wierzchołka lub

powiększenie tej wartości, ponieważ nie istnieją żadne pomiary, które przedstawiałyby wartości wychyleń komina w przeszłości. Można stwierdzić jednak, że rzeczywiste wychylenie wierzchołka komina nie jest poważne i nie ma istotnego wpływu na stateczność i nośność obiektu. Maksymalne odchylenie najwyższego punktu komina jest bardzo małe i wynosi 3 cm. Do szczegółowego porównania odchyłek z wartościami dopuszczalnymi przyjęto analizę osi I z uwagi na największe odchylenia od pionu osi komina. **Tabela 7.1** przedstawia dopuszczalne odchyłki.

Tabela 7.1. Dopuszczalne odchyłki od osi pionowej komina

Lp.	Poziom wysokościowy komina [m]	Dopuszczalna odchyłka od osi pionowej komina [mm]
1	+ 5	14
2	+ 10	28
3	+ 20	48
4	+ 30	62

Po wysokości obiektu maksymalne wychylenie z osi komina wynosi 30 mm i występuje na wysokości 21 m od poziomu terenu. Dopuszczalna odchyłka od pionowej osi komina wynosi 48 mm dla poziomu wysokościowego komina równego 20 m. Należy również zwrócić uwagę na odchylenie od pionowej osi komina na poziomie 7,74 m, która wynosi 2 cm. Dla wysokości 10 m dopuszczalna odchyłka może wynosić 28 mm a dla wysokości 5 m odpowiednio 14 mm. W związku z tym dla wysokości 7,74 m nad poziomem terenu, stosując metodę interpolacji liniowej, dopuszcza się odchylenie o wartości równej 22 mm. Oba przedstawione miejsca pomiarowe odchyłek od osi mieszczą się w podanych dopuszczalnych przedziałach odchyłeń. Dlatego też nie istnieją żadne podstawy do obawy o pionowość komina.

8. Analiza obliczeń statyczno-wytrzymałościowych

Do wyznaczenia wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie muru przyjęto cegłę kominówkę oraz markę zaprawy 1,5 MPa (przypadek sprawdzania kominów istniejących zgodnie z tablicą Z1-2 normy PN-88/B-03004). Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe wykonano zgodnie z normą PN-88/B-03004 „Kominy murowane i żelbetowe. Obliczenia statyczne i projektowanie”. Przedruk danych i wyników obliczeń umieszczono w **Załączniku nr 3**. Wyniki obliczeń sprawdzających wykazują, że komin spełnia normowe warunki stanu granicznego użytkowania (zarysowania) całej wysokości w przypadku bezpośredniego przyjęcia normowych wartości wytrzymałościowych muru.

Należy dodać, że choć komin posiada wzmocnienia stalowe (obręcze), których nie uwzględniono w obliczeniach. Zastosowane wzmocnienia wpływają na redukcję naprężeń w poszczególnych przekrojach. Obręcze stosuje się dla zabezpieczenia przed efektami termicznymi - dla kompensacji obwodowych naprężeń rozciągających po zewnętrznej stronie przekroju trzonu. Obręcze są rodzajem sprężenia obwodowego, które w przypadku nagrzania muru od wewnątrz wprowadzają od zewnątrz siły ściskające kompensujące wewnętrzne siły rozciągania. W przypadku przedmiotowego komina przypadek taki nie zachodzi ponieważ komin nie jest eksploatowany (nie odprowadza gorących spalin).

9. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych oględzin, badań materiałowych oraz analiz operatu geodezyjnego i obliczeń statyczno-wytrzymałościowych stwierdza się że:

- Ogólny stan komina określa się jako zadawalający, za wyjątkiem jego górnej części tj. głowicy. Należy podkreślić, że w czasie wizji lokalnej stwierdzono silny stopień degradacji zaprawy w tej części komina. Tekstura zaprawy jest bardzo rozluźniona i nie stanowi na dzień dzisiejszy odpowiedniego materiału spoinującego, spełniającego swoją pierwotną funkcję. Oznacza to, że cegły znajdujące się w rejonie głowicy stanowią rząd luźno poukładanych cegieł. Stanowi to realne zagrożenie upadku z dużej wysokości fragmentów muru.
- Przeglądy komina pozwoliły na szczegółowy opis obiektu oraz elementów jego wyposażenia. Wskazano miejsca występujących zniszczeń na zewnętrznej powierzchni trzonu oraz na dolnej części komina (cokole). Charakterystyczne formy zniszczenia cegły to przede wszystkim łuszczenie i osypywanie materiału ceramicznego prowadzące do powstania lokalnych ubytków. Ilościowa analiza zmian materiałowych na powierzchni cokołu wykazała udział zniszczonej powierzchni na poziomie około 20 %. Obecny stan komina, w tym rzeczywiste wymiary oraz występujące zniszczenia na zewnętrznej powierzchni, naniesiono na rysunki inwentaryzacyjne stanowiące integralną część opracowania.
- Na podstawie przeprowadzonych badań chemicznych materiałów pobranych z różnych części komina wykazano podwyższoną obecność siarczanów, chlorków i azotanów oraz generalnie obniżone pH. Odczyn cegieł pobranych z zewnątrz trzonu charakteryzował się normalnymi wartościami typowymi dla eksploatowanej cegły. Natomiast odczyn cegieł wewnątrz miał wyraźnie charakter kwasowy, będący efektem działania kwasu siarkowego. Przypadku zapraw odczyn tego materiału zarówno od strony wewnętrznej jak i zewnętrznej był porównywalny i mieścił się w zakresie 6,6÷8,3. Niski odczyn zaprawy wewnątrz komina jest efektem obecności korozji kwasowej oraz w dalszej kolejności siarczanowej. Natomiast od zewnątrz jest efektem długoletniej

karbonatyzacji. W badaniach wykazano również wysoką zawartość siarczanów, zwłaszcza w cegle ceramicznej od strony draży, która jest bliska wartości krytycznej tj. 5% masy próbki, przekroczenie której może powodować silną destrukcję cegły. Siarczany obecne są również pobranej zaprawie, mogą występować w formie ekspansywnego etryngitu lub gipsu, którego obecność powoduje silne naprężenia rozciągające i utratę zwięzłości materiału. Proces ten jest intensyfikowany korozją kwasową spoiwa, w wyniku której obserwuje się rozkład matrycy.

- Analizując wyniki badań chemicznych należy również wziąć pod uwagę podwyższoną zawartość chlorków i azotanów, które sprzyjają zawilgoceniu muru oraz w warunkach podwyższonej temperatury, kiedy mur się osusza krystalizują, powodując dodatkowe naprężenia rozciągające. Przyczyniając się w ten sposób do destrukcji cegły i zaprawy.
- Wytrzymałości na ściskanie cegieł z których wykonany jest komin mieści się w przedziale 12,2÷29,4 MPa. Niższe wartości uzyskano w przypadku cegieł pełnych pobranych z fundamentu, natomiast najwyższe dla cegły kominówki pobranej z trzonu. Wytrzymałość na ściskanie pobranej zaprawy mieści się w przedziale 1,4÷1,8 MPa. Uzyskane wyniki badań zostały wykorzystane do przeprowadzenia obliczeń statyczno-wytrzymałościowych trzonu komina, pozwalające ocenić stan graniczny użytkowania konstrukcji.
- W ramach analizy stanu technicznego badanego komina oceniono geodezyjnie wychylenie osi trzonu komina z pionu. Pomiary jednoznacznie wykazały, że największe wychylenie komina z osi wynosi 3 cm. Zatem nie stanowi to zagrożenia dla stateczności i dalszego istnienia konstrukcji.
- Wyniki obliczeń statyczno-wytrzymałościowych wykazują, że komin spełnia normowe warunki stanu granicznego użytkowania (zarysowania) całej wysokości, w przypadku założenia normowych wartości wytrzymałościowych muru.

10. Zalecenia eksploatacyjne

Poniżej przedstawiono zalecenia odnoszące się do bieżącej eksploatacji i napraw, które są niezbędne do bezpiecznego funkcjonowania obiektu:

- w trybie natychmiastowym zabezpieczenie cegieł w górnej części komina przed niekontrolowanym upadkiem (np. przez osiatkowanie) ze względu na występujący brak spójności zaprawy z cegłą w kilku ostatnich warstwach;
- naprawa instalacji odgromowej; dla prawidłowego działania instalacji należy zamontować uziom, doprowadzić przewód odprowadzający do prawidłowego stanu (zapewnić ciągłość przewodu) oraz wykonać odpowiednie zabezpieczenie antykorozyjne całości instalacji;
- wycinka drzewa (lub kilku jego gałęzi) znajdującego się w bliskim sąsiedztwie komina;

- usunięcie popiołu, sadzy i drobinek cegły ze środka komina, które opadły na dół w wyniku eksploatacji komina oraz destrukcji cegły;
- wymiana żeliwnego nakrycia, które pełni funkcję wjazdu do wnętrza komina (obecne nakrycie jest pęknięte);
- naprawa obręczy stalowej na poziomie podstawy trzonu (o przekroju ośmiokąta) polegająca na dopasowaniu jej do powierzchni trzonu. Obecne tymczasowe dopasowanie realizowane jest za pośrednictwem klinowania kawałkami drewna;
- naprawa stalowych ściągow zamontowanych na cokole komina, zwłaszcza na ścianie północnej;
- odpowiednie zabezpieczenie antykorozyjne wszystkich stalowych obręczy zamontowanych na trzonie komina;
- oczyszczenie i zabezpieczenie powierzchniowe rys i ubytków płaszcza trzonu;
- przemurowanie luźnych cegieł znajdujących się na górnej części cokołu;
- uzupełnienie brakujących spoin, wymiana spoin o niskiej wytrzymałości;
- prowadzenie cyklicznych przeglądów stanu technicznego (co najmniej co 5 lat) obejmujących geodezyjne pomiary pionowości i osiadania komina, skuteczności instalacji odgromowej, postępu degradacji głowicy komina;
- opracowanie wykonawczego projektu remontu przedmiotowego obiektu uwzględniającego wymogi konserwatorskie.

11. Wytyczne konserwatorskie

Głównym założeniem jest osiągnięcie w wyniku remontu odpowiedniego stanu technicznego i estetycznego przedmiotowego komina. Należy, więc dołożyć wszelkich starań, aby w efekcie planowanych prac konserwatorskich obiekt zabytkowy zachował pierwotny kształt i walory estetyczne. W trakcie planowanego remontu komina koniecznym jest użycie odpowiednich materiałów i technik konserwatorskich oraz zapewnienie wysokiego poziomu wykonania wszystkich zabiegów ze szczególnym uwzględnieniem rygoru technologicznego. Wybrane materiały konserwatorskie winny zapewniać budowli długotrwałą ochronę przed wszystkimi czynnikami niszczącymi. Proponuje się, aby prace renowacyjne zostały wykonane w oparciu o materiały konserwatorskie i technologię np. firmy Remmers, Epasit lub STO, które znane są z licznych zastosowań w trakcie remontów wielu obiektów zabytkowych w Polsce i cieszą się

dużym uznaniem środowiska konserwatorskiego oraz firm budowlanych. Należy podkreślić, iż kompetencje i doświadczenie Wykonawcy w tego typu pracach oraz ścisłe przestrzeganie technologii materiałów budowlanych i konserwatorskich z dotrzymaniem harmonogramu prac, stanowią podstawę do prawidłowego wykonania zadania. Podstawowym założeniem prac remontowych i konserwacyjnych obiektu powinno być wstrzymanie, a następnie w miarę możliwości wyeliminowanie, procesów działających destrukcyjnie na komin. W wyniku remontu zakłada się osiągnięcie odpowiedniego stanu technicznego i estetycznego obiektu. Zakłada się wykonanie odpowiednich zabiegów konserwacji technicznej oraz konserwacji estetycznej, a ich Wykonawca, musi posiadać duże doświadczenie i długoletnią praktyką zarówno w renowacji obiektów zabytkowych jak i pracach na wysokościach. Zakłada się wykonanie pełnych zabiegów konserwacji technicznej oraz konserwacji estetycznej wątku ceglanego zarówno w podstawie jak i w trzonie komina.

Przy wyborze technologii prac konserwatorskich w odniesieniu do wątków ceglanych – (a w tym odpowiednich materiałów konserwatorskich) należy kierować się zasadą, aby wybrana linia produktów jednego producenta mogła zostać użyta w szerokim zakresie poszczególnych czynności konserwatorskich.

Jako podstawową metodę praktycznie nieinwazyjnego czyszczenia podłoża sugeruje się czyszczenie wątków ceglanych parą wodną przy zastosowaniu profesjonalnego agregatu Karcher z wytwornicą pary. Metoda ta pozwala osiągnąć dobre efekty w postaci usunięcia zabrudzeń, przebarwień a nawet tzw. fałszywej patyny pokrywającej powierzchnię wątku. Dodatkowo para wodna w znacznej mierze likwiduje szkodliwe mikroorganizmy, zwłaszcza grzyby, glony i pleśnie, które często rozwijają się w przypowierzchniowej warstwie zawilgoconego wątku i w jego spoinach. Metoda ta zużywa małą ilość wody, i nie powoduje silnego zawilgocenia czyszczonego podłoża. Zastosowanie agregatu czyszczącego z kontrolowanym w trakcie prac doborem ciśnienia dyszy roboczej oraz odpowiednim ścierniwem (ścierniwo - mączka szklarska lub elektrokorund w granulacji 0,063÷0,090 mm) pozwoli na bardzo dokładne, a zarazem bezpieczne doczyszczenie powierzchni wątków ceglanych. Po zakończeniu wszystkich prac związanych z odczyszczaniem powierzchni wątków, należy dokładnie usunąć z obiektu resztki ścierniwa z usuniętymi nawarstwieniami stosując obmiatanie szczotkami z miękkim włosiem oraz odkurzacze przemysłowe.

Rusztowania do prac renowacyjnych winny zabezpieczać powierzchnię komina przed zamakaniem w trakcie prac. Konieczne będzie zadaszenie rusztowania oraz zabezpieczenie zewnętrzne siatką (najlepiej białą, gdyż tylko taka zbytnio nie zaciemnia i nie zmienia barwy próbek

kolorystycznych). Po postawieniu rusztowań należy przeprowadzić dokładne oględziny lica ceglanego. Dopiero na tej podstawie wytypowanie zostaną miejsc „przycerowania” nową cegłą, a w konsekwencji określona zostanie ilość cegieł, niezbędna do pozyskania i użycia w pracach przy przedmiotowym kominie

Uzupełnienie spoinowania wątku należy wykonać nawiązując do ich oryginalnej techniki tj. w miejscach pełnej wymiany spoin należy wykonać nowe z zaprawy bazującej na paroletnim wapnie dołowanym, piasku o odpowiednim uziarnieniu z dodatkiem trasu. Kształt i barwa nowych spoin musi powtarzać sposób opracowania spoinowania oryginalnego.

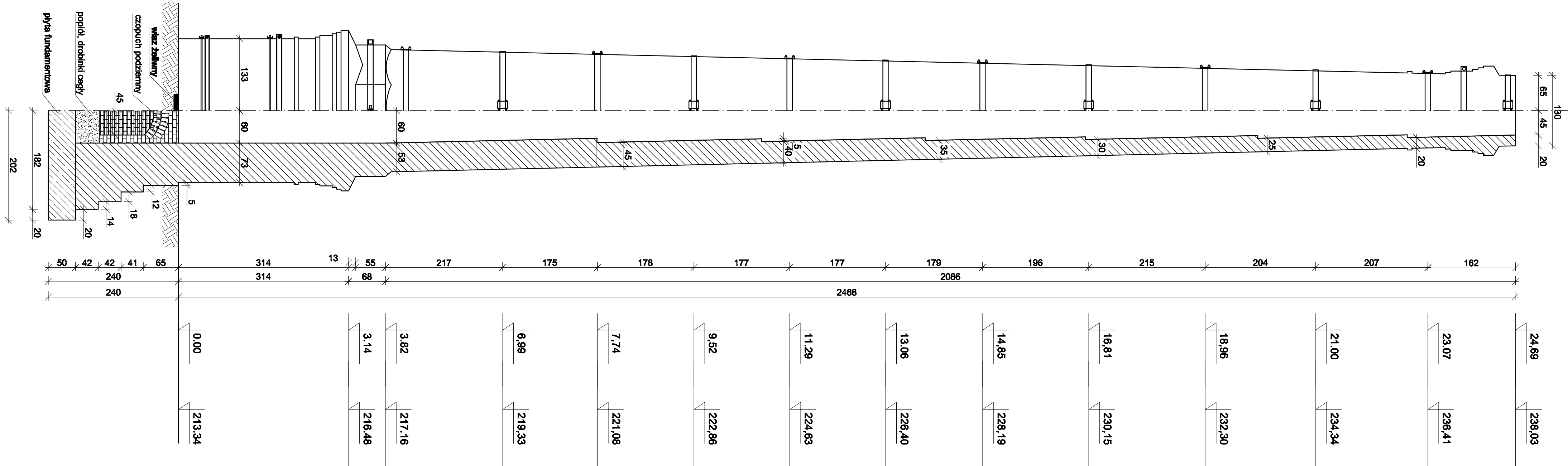
Końcową czynnością powinno być wykonanie zabiegu hydrofobizacji całości wątków ceglanych przy użyciu preparatu krzemoorganicznego.

12. Załączniki

Załącznik nr 1 – Inwentaryzacja uszkodzeń - rysunki

Załącznik nr 2 – Operat pomiarowy z geodezyjnej inwentaryzacji komina.

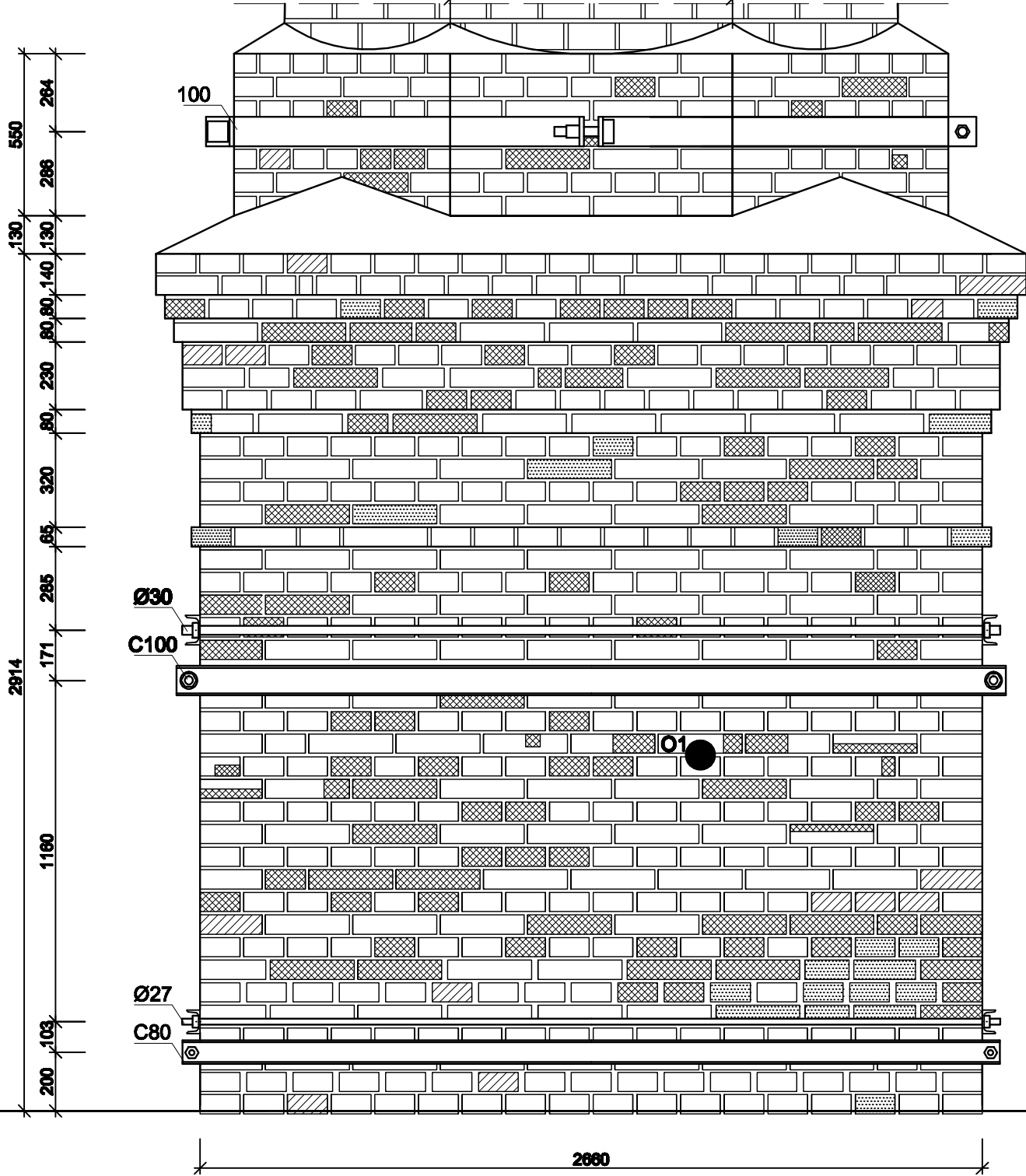
Załącznik nr 3 – Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe.



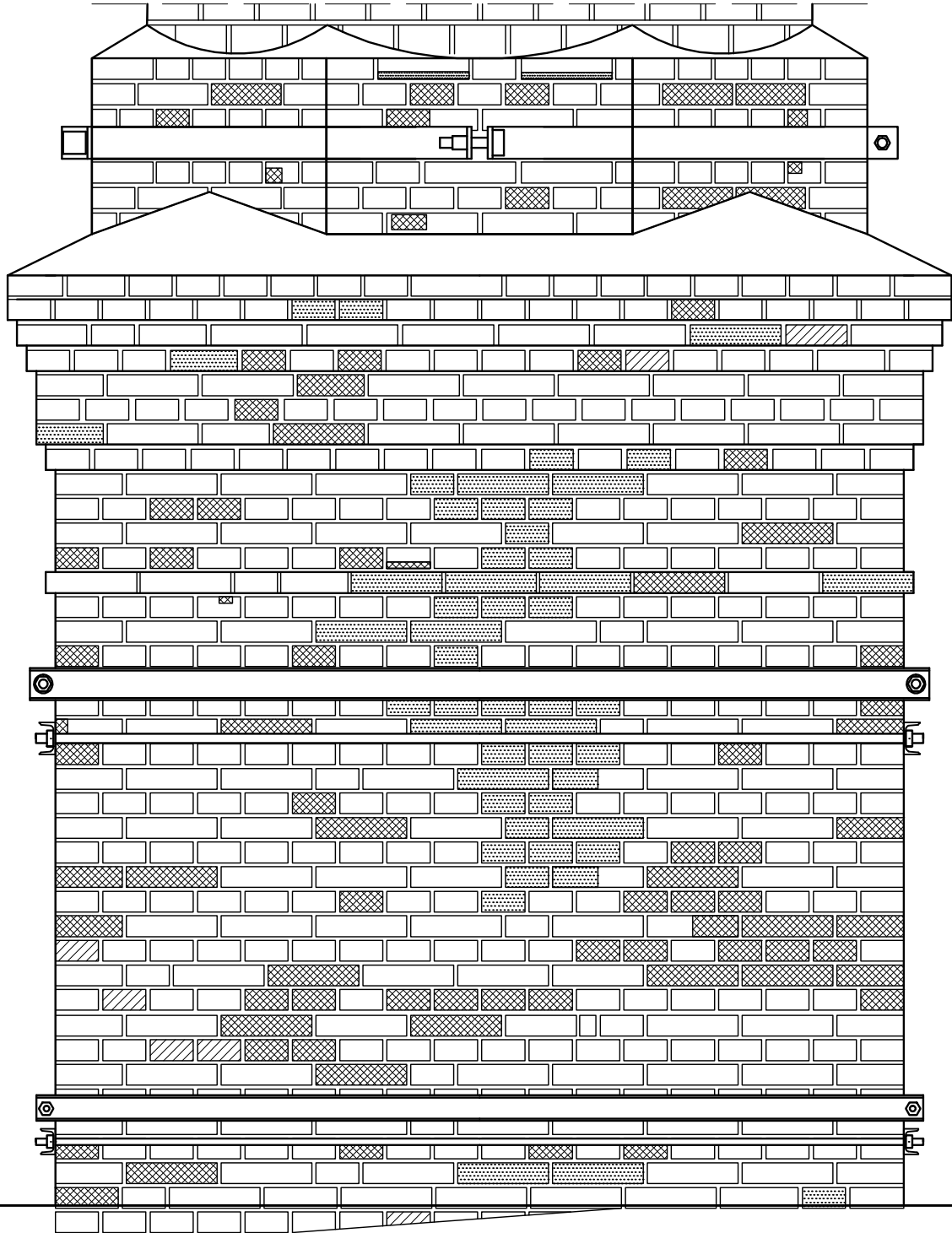
- Uwagi:**
- rysunek wykonany na podstawie pomiarów wykonanych w terenie;
 - rysunek przedstawia przekrój i widok z jednej strony komina z uwagi na symetrię względem osi;
 - widok komina przedstawia stronę zachodnią;
 - wysokość n.p.m. podane zakładając poprawną wysokość podstawy trzonu;
 - za punkt bazowy określenia wysokości n.p.m. wziętych obręczy przyjęto wysokość górnej krawędzi cokołu: 216,48 m.n.p.m. - wysokości przedstawione stanowią przybliżone wartości z uwagi na błąd geodezy w określeniu wysokości pierwszej obręczy na okrągłym trzonie
 - płyta fundamentowa: betonowa 2m x 2m x 0,5m;
 - fundament nad płytą fundamentową wykonany jest z cegieł o wymiarach 285 x 135 x 65mm;
 - czopuch komina jest podzieleny o szerokości 90cm, sklepienie łukowe wykonane z dwóch warstw cegieł;
 - czopuch podziemny - widok strony wschodniej - czopuch jest zamurowany, rysunek przedstawia nieczytelne wejście do komina;
 - poziom terenu przyjęty został na wysokości wjazdu żelaznego;
 - wjazd żelazny posiada wymiary: 60cm x 60cm
 - z uwagi na czytelność rysunku w widoku nie naniesiono konturów poszczególnych cegieł;
 - drabinka wierzowa wewnętrzna usytuowana jest od strony północnej, szczególnie rozmieszczone co 40cm;
 - wymiary podane w cm.

Tytuł pracy:	Ekspertyza stanu technicznego murowanego komina znajdującego się na terenie kampusu Politechniki Krakowskiej		
Tytuł rys.:	Widok strony zachodniej i przekrój komina		
Stadium:	Ocena stanu technicznego		Data: 09.05.2016r.
Opracował:	mgr inż. Sylwia Łącz	Skala:	1:50
Sprawdziła:	dr. inż. Teresa Strzemińska	Nr. rys.:	1

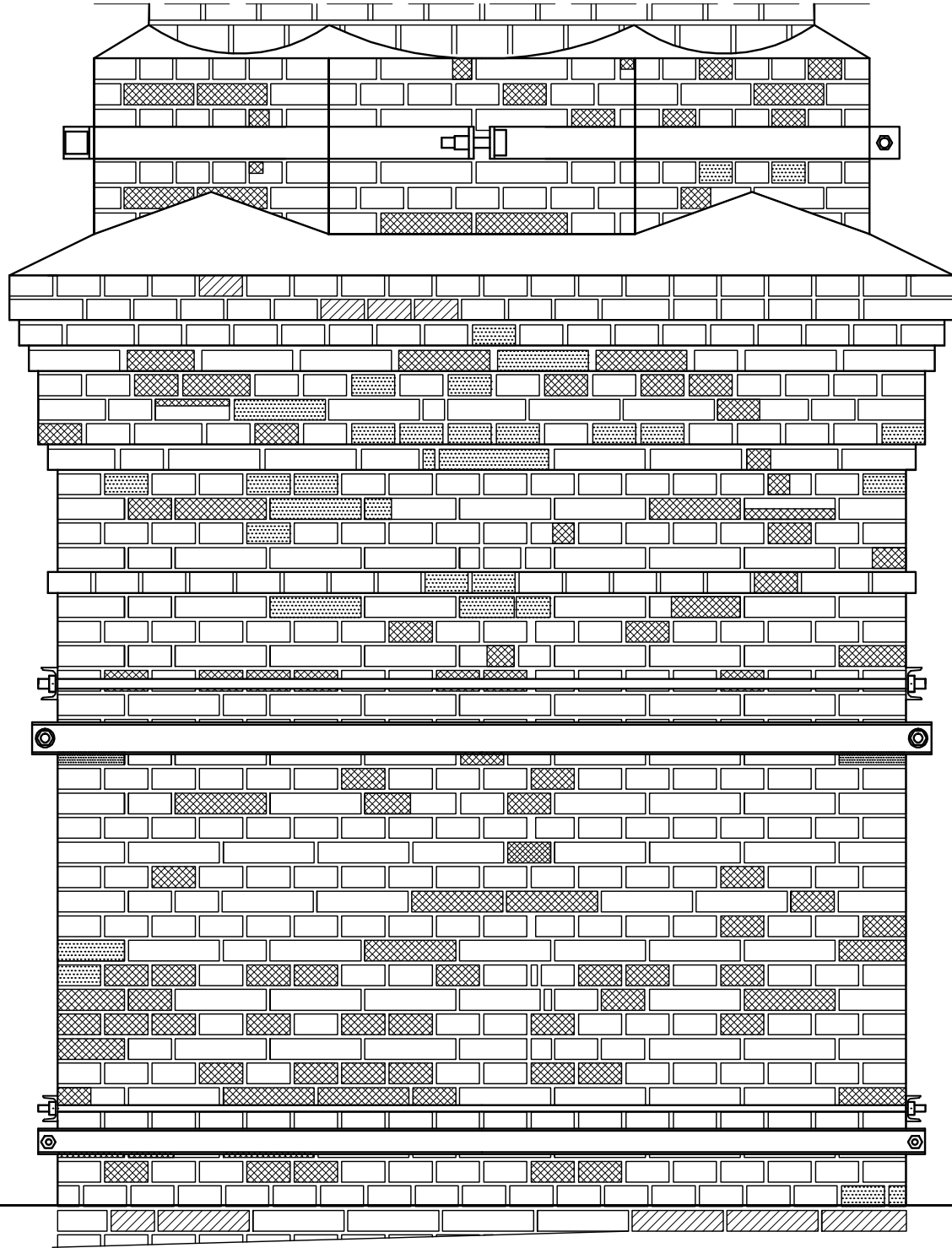
Widok 1-1
strona północna
980



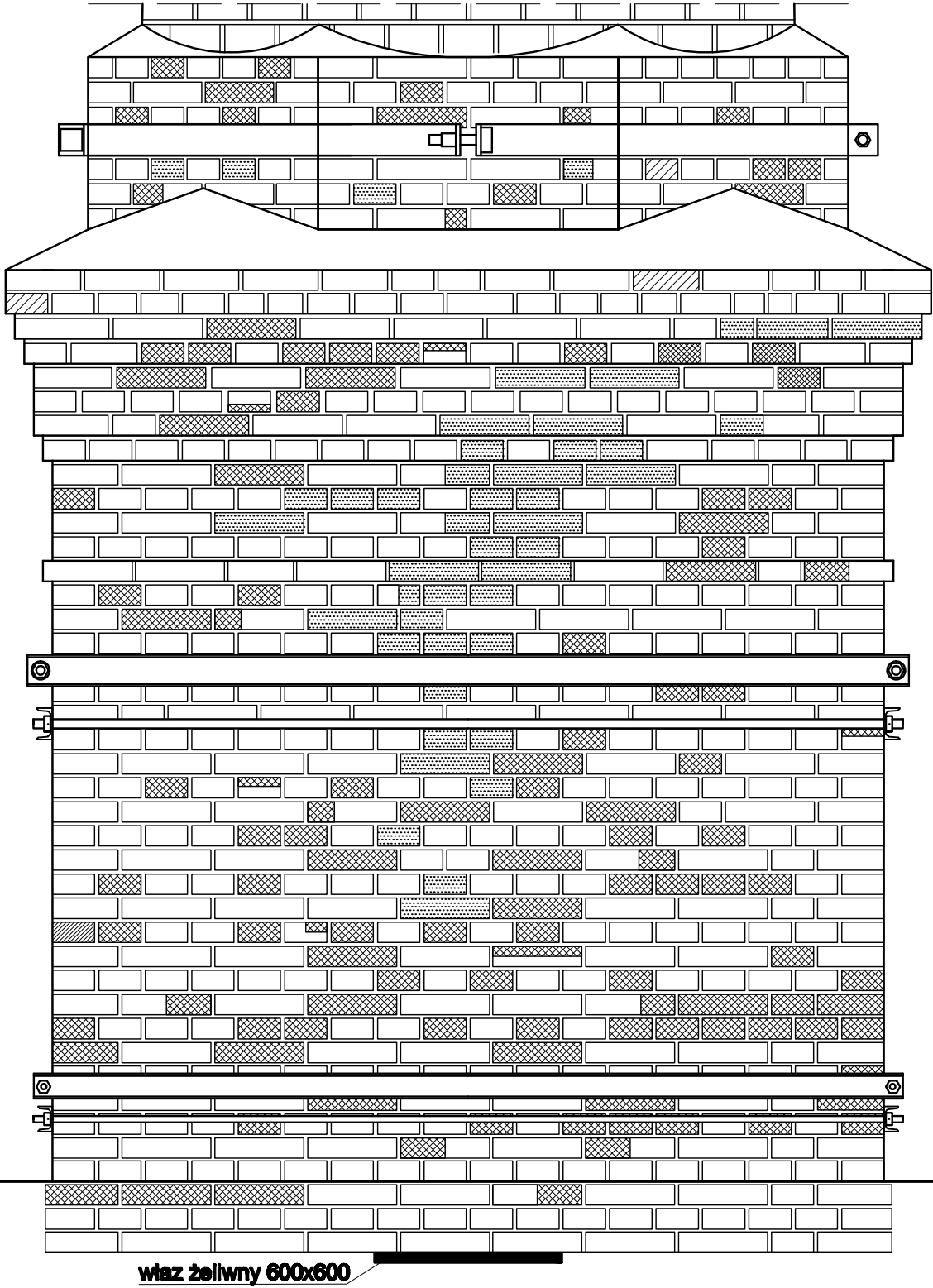
Widok 2-2
strona wschodnia



Widok 3-3
strona południowa



Widok 4-4
strona zachodnia



Uwagi:

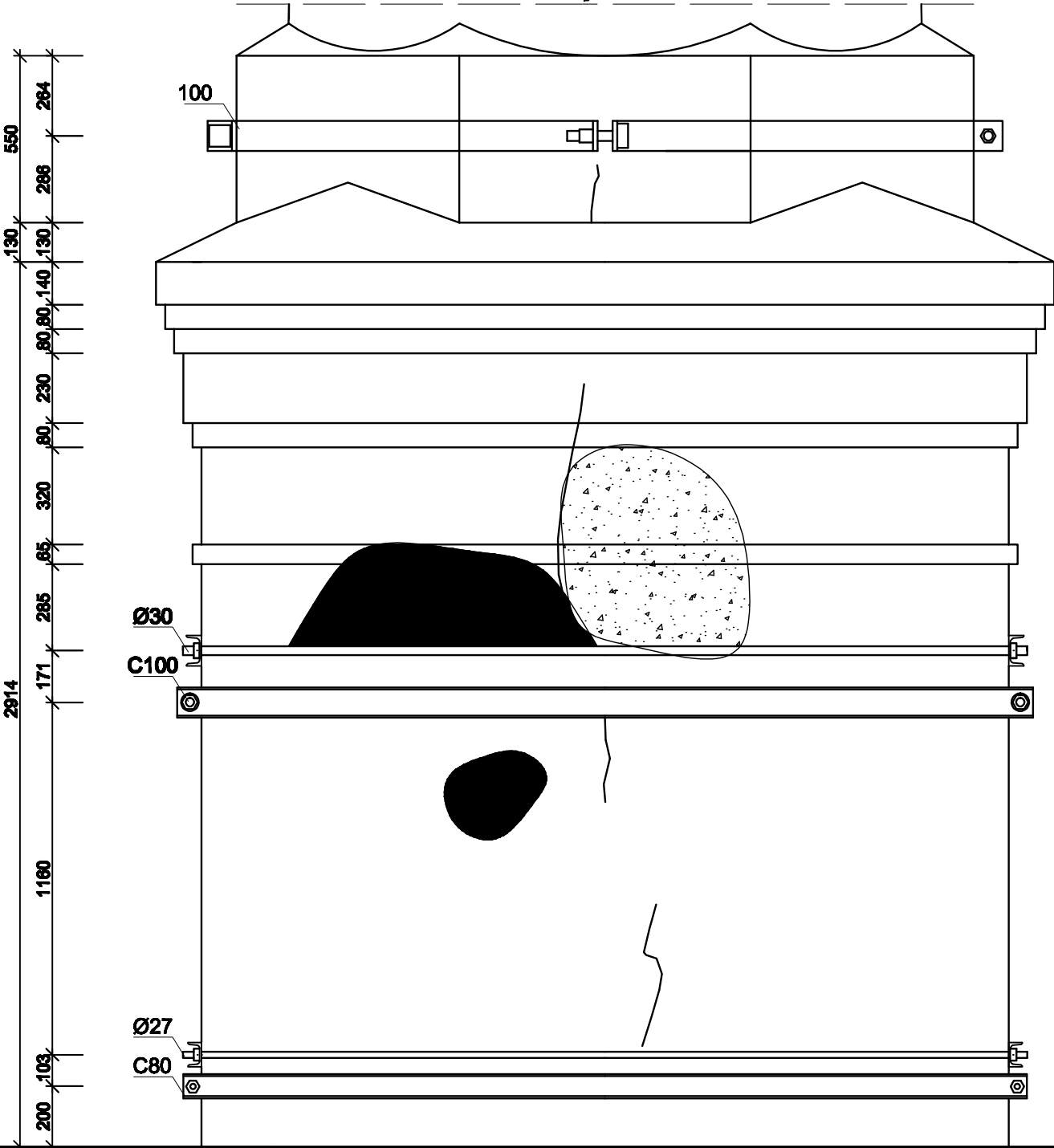
- przedstawiony obiekt znajduje się na terenie kampusu Politechniki Krakowskiej przy ul. Warszawskiej 24 w Krakowie;
- rysunek przedstawia zniszczenia na ścianach komina od poziomu terenu do górnej części podstawy trzonu;
- na podstawie rysunku zanalizowano procentowy udział zniszczeń na każdej ścianie cokołu;
- wymiary na rysunku podano w mm.

Legenda:

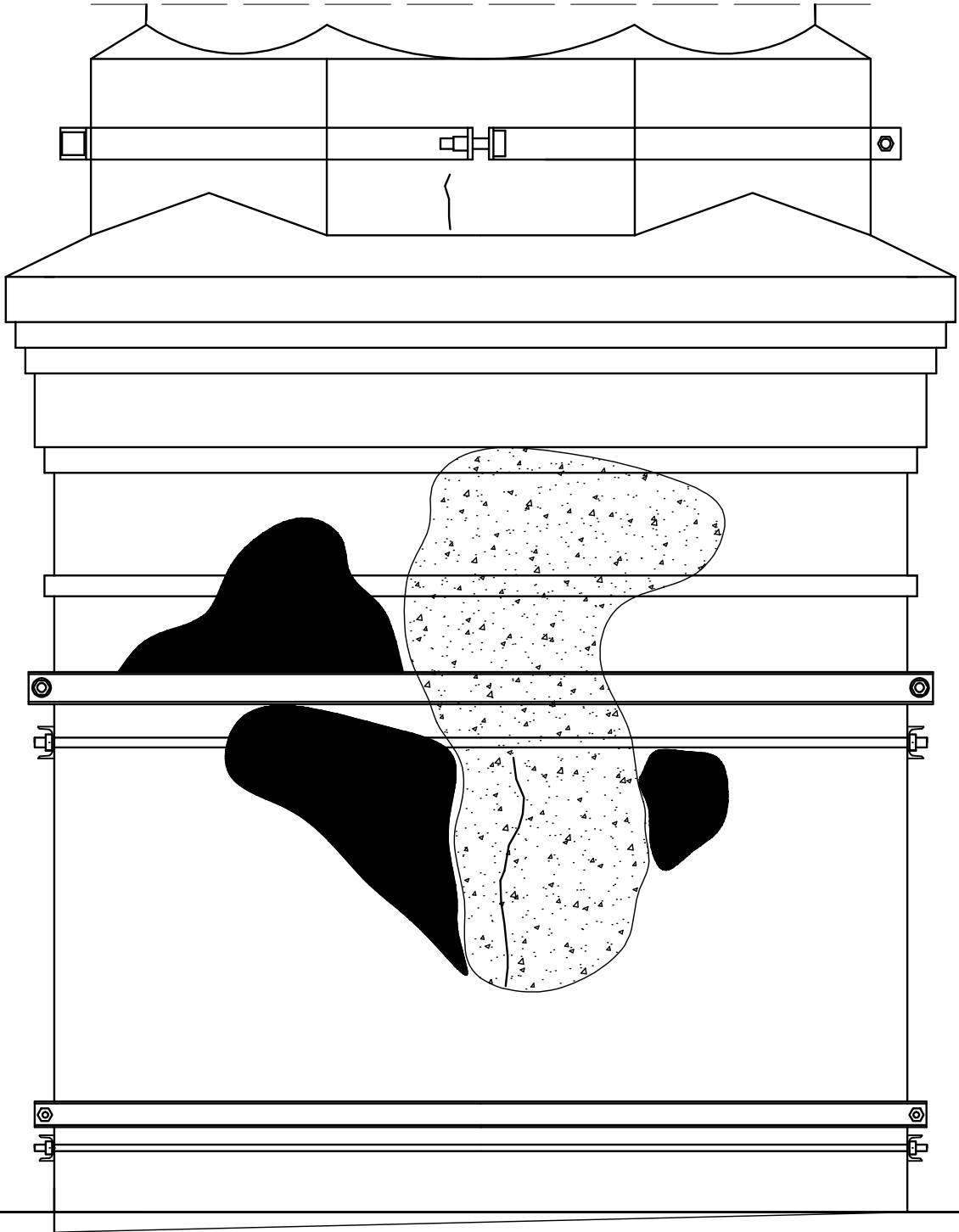
	Osypywanie się cegły
	Łuszczenie cegły
	Uszkodzenie całych elementów Znaczny ubytek
	Odwiert nr 1

Tytuł pracy:	Ekspertyza stanu technicznego murowanego komina znajdującego się na terenie kampusu Politechniki Krakowskiej		
Tytuł rys.:	Inwentaryzacja uszkodzeń dolnej i środkowej części komina - cz.1		
Stadium:	Ocena stanu technicznego	Data:	09.05.2016r.
Opracowała:	mgr inż. Sylwia Łącz	Skala:	1:20
Sprawdził:	dr inż. Teresa Stryszewska	Nr. rys.:	2

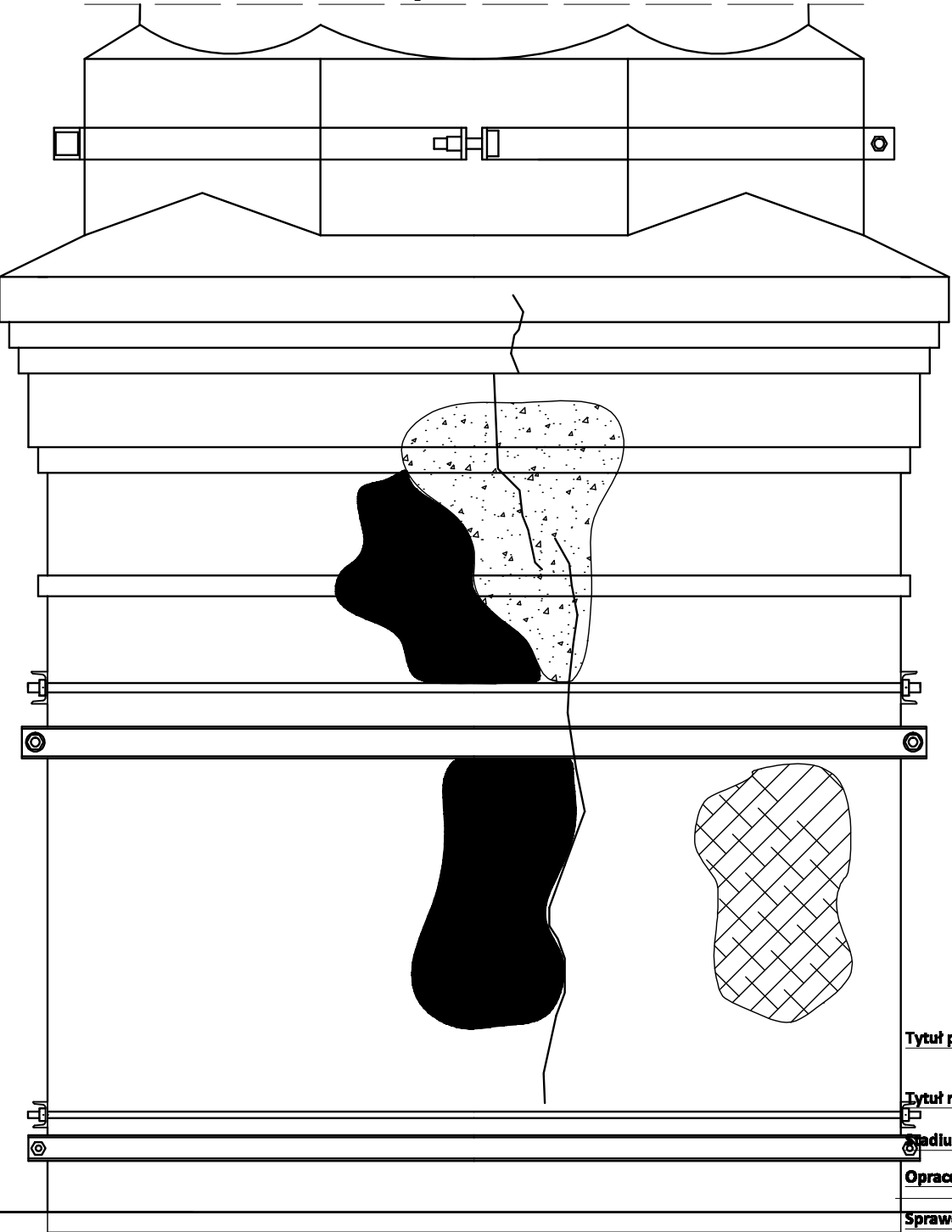
Widok 1-1
strona północna



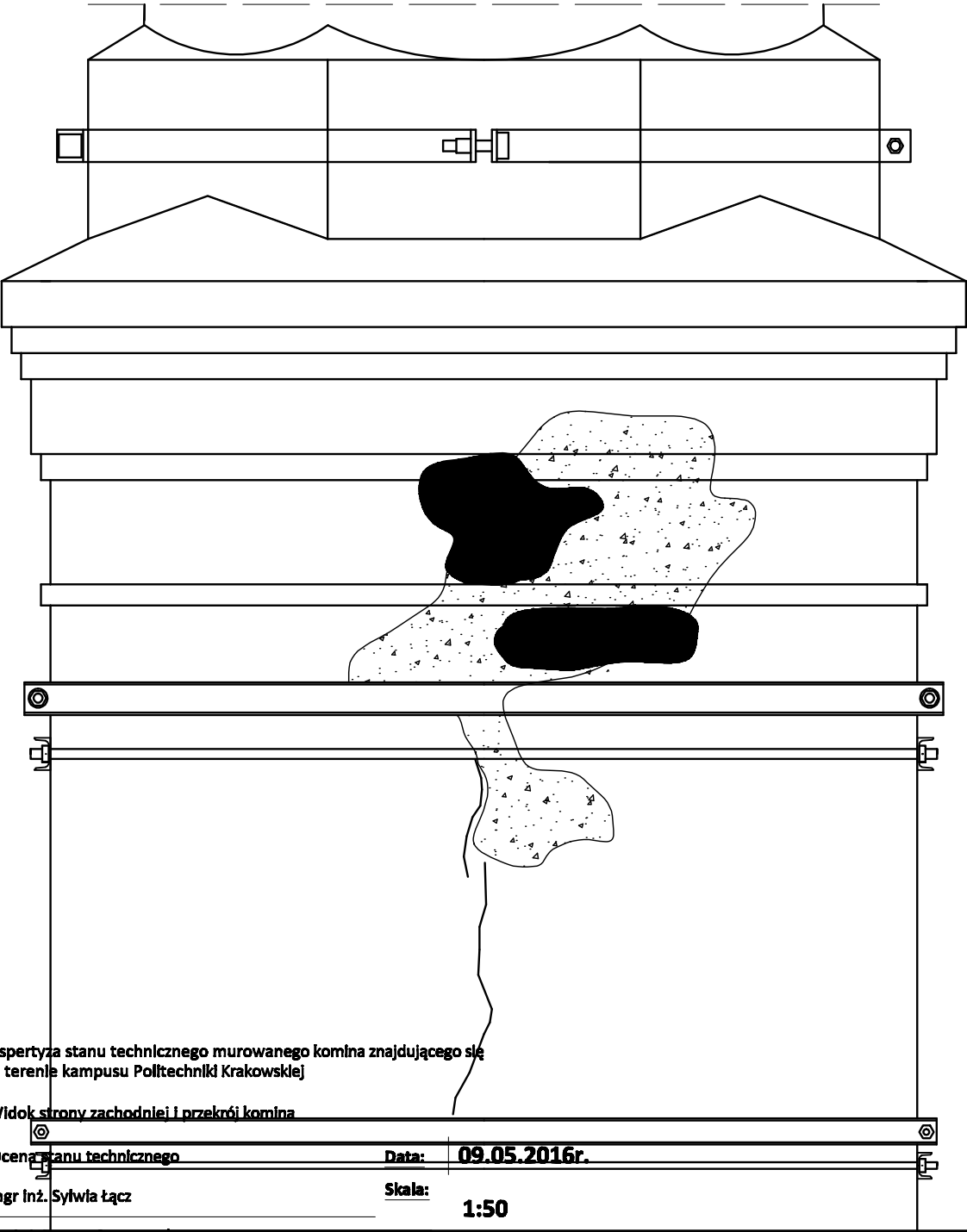
Widok 2-2
strona wschodnia



Widok 3-3
strona południowa



Widok 4-4
strona zachodnia



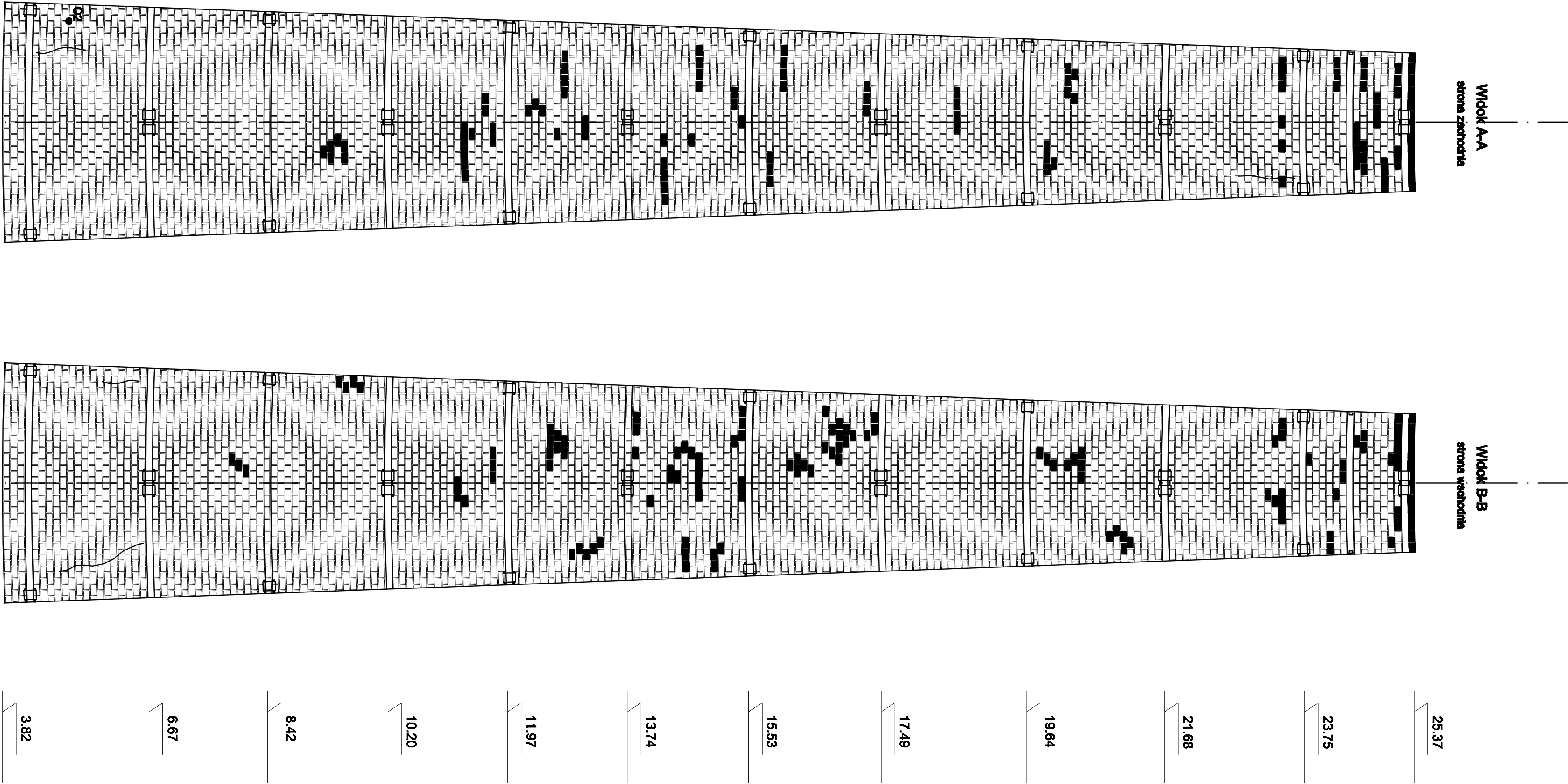
Tytuł pracy:	Ekspertyza stanu technicznego murowanego komina znajdującego się na terenie kampusu Politechniki Krakowskiej		
Tytuł rys.:	Widok strony zachodniej i przekrój komina		
Stadium:	Ocena stanu technicznego	Data:	09.05.2016r.
Opracowała:	mgr inż. Sylwia Łącz	Skala:	1:50
Sprawdziła:	dr. inż. Teresa Stryszewska	Nr. rys.:	1

- Uwagi:
- przedstawiony obiekt znajduje się na terenie kampusu Politechniki Krakowskiej przy ul. Warszawskiej 24 w Krakowie;
 - rysunek przedstawia zniszczenia na ścianach komina od poziomu terenu do górnej części podstawy trzonu;
 - wymiary na rysunku podano w mm.

Legenda:

	Rysy
	Biały nalot
	Zmiana barwy
	Narzut cementowy

Tytuł pracy:	Ekspertyza stanu technicznego murowanego komina znajdującego się na terenie kampusu Politechniki Krakowskiej		
Tytuł rys.:	Inwentaryzacja uszkodzeń dolnej i środkowej części komina - cz.2		
Stadium:	Ocena stanu technicznego	Data:	09.05.2016r.
Opracowała:	mgr inż. Sylwia Łącz	Skala:	1:20
Sprawdził:	dr inż. Teresa Stryszewska	Nr. rys.:	3



Legenda:

O2- odwiew nr 2 o średnicy 100mm

oceanika zniszczona

zarysowanie

Uwagi:

- rysunek przedstawia rozmięnięcie płaszcza konina od strony zewnętrznej;
- zniwieniarzowano wezyskie występująca zniszczona na trzonie koninie;
- wysokości podane zgodnie z wykonanym pomiarami konina na miejscu;
- zaznaczono miejsca wykonania odwiewu nr 2;
- z uwagi na obszerne trzonu z dalekiej odległości nie podano rozmiaru rys ani też ich długości;

Tytuł pracy:		Ekspertyza stanu technicznego murowanego konina znajdującego się na terenie kampusu Politechniki Krakowskiej	
Tytuł rys.:		Inwentaryzacja zniszczeń trzonu od zewnątrz.	
Stadium:		Ocena stanu technicznego	
Opracował:		mgr inż. Sylwia Łęcz	
Sprawdziła:		dr. inż. Teresa Stryszewska	
Data:		09.05.2016r.	
Skala:		1:50	
Nr. rys.:		4	

Województwo: małopolskie
Powiat: Kraków
Miasto: Kraków
Jedn.Ewid.: 126105_9 Śródmieście
Obręb: 118
ul. Warszawska 24
Działka: 4/1
Skala 1:500

KERG: NGK 6640.823/2014

Rodzaj roboty: inwentaryzacja

OPERAT POMIAROWY

z geodezyjnej inwentaryzacji komina

Artur Kędzierski
Usługi Geodezyjne
Ul. Kobierzyńska 63-65-0 30-323 Kraków
tel. 506 243 719

Operat niniejszy sporządził:
dnia: 11.09.2014

Podpis uprawniony
- okresie Nr 17203
Artur Kędzierski

Inwentaryzacja komina

Powiat: Kraków

Jedn.Ewid.: 126105_9 Śródmieście

ul. Warszawska 24

Skala 1:500

Układ odniesienia Kronsztadt 86

Układ współrzędnych poziomych 2000

Ul. Kobierzyńska 85/55-B, 30-383 Kraków

tel. 506 243 719

~~Geodeta uprawniony~~

v. zakresie 1 ~~pr~~ 17203

~~Mariusz Kędzierski~~



oś III

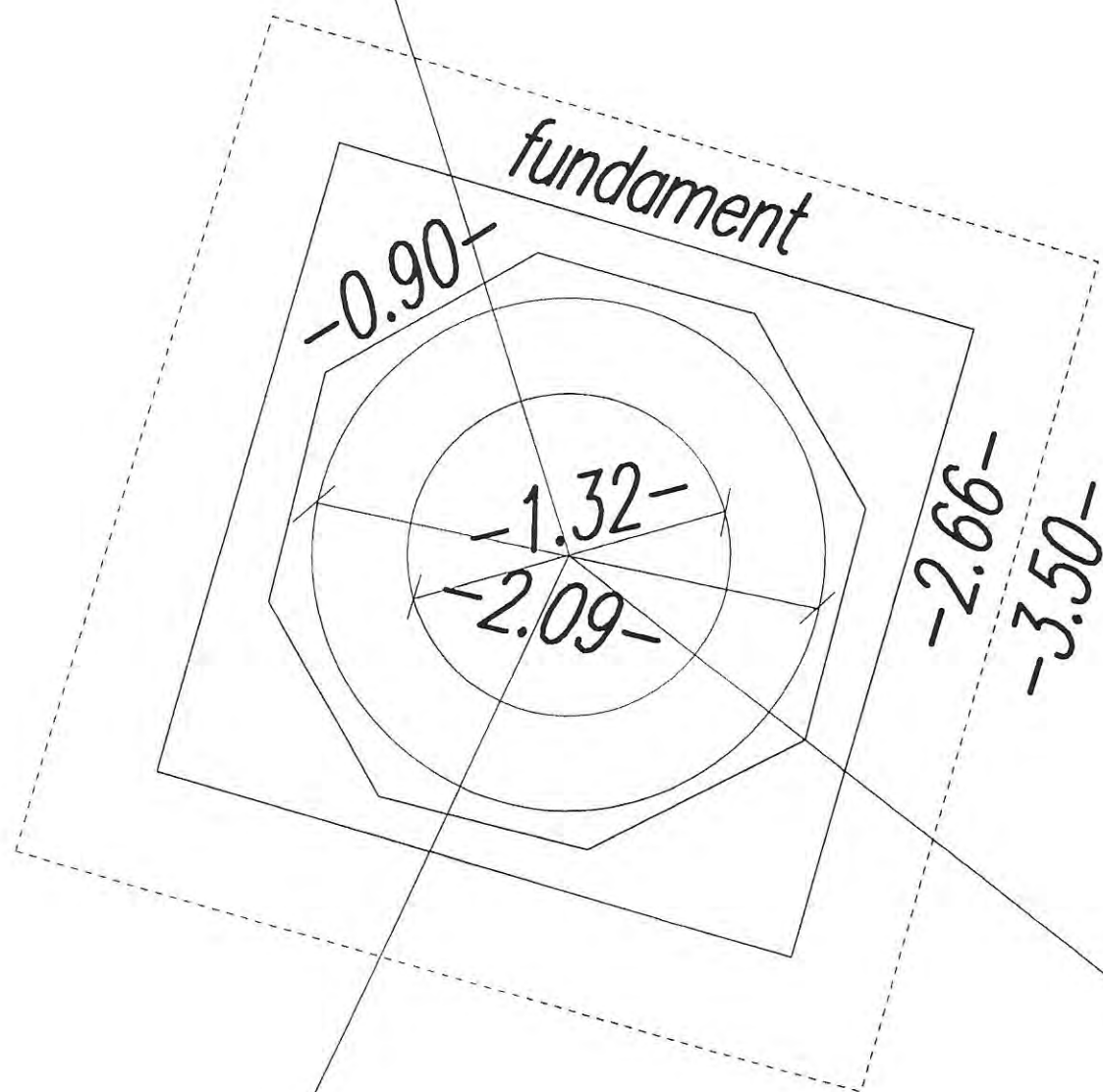
oś II

oś I



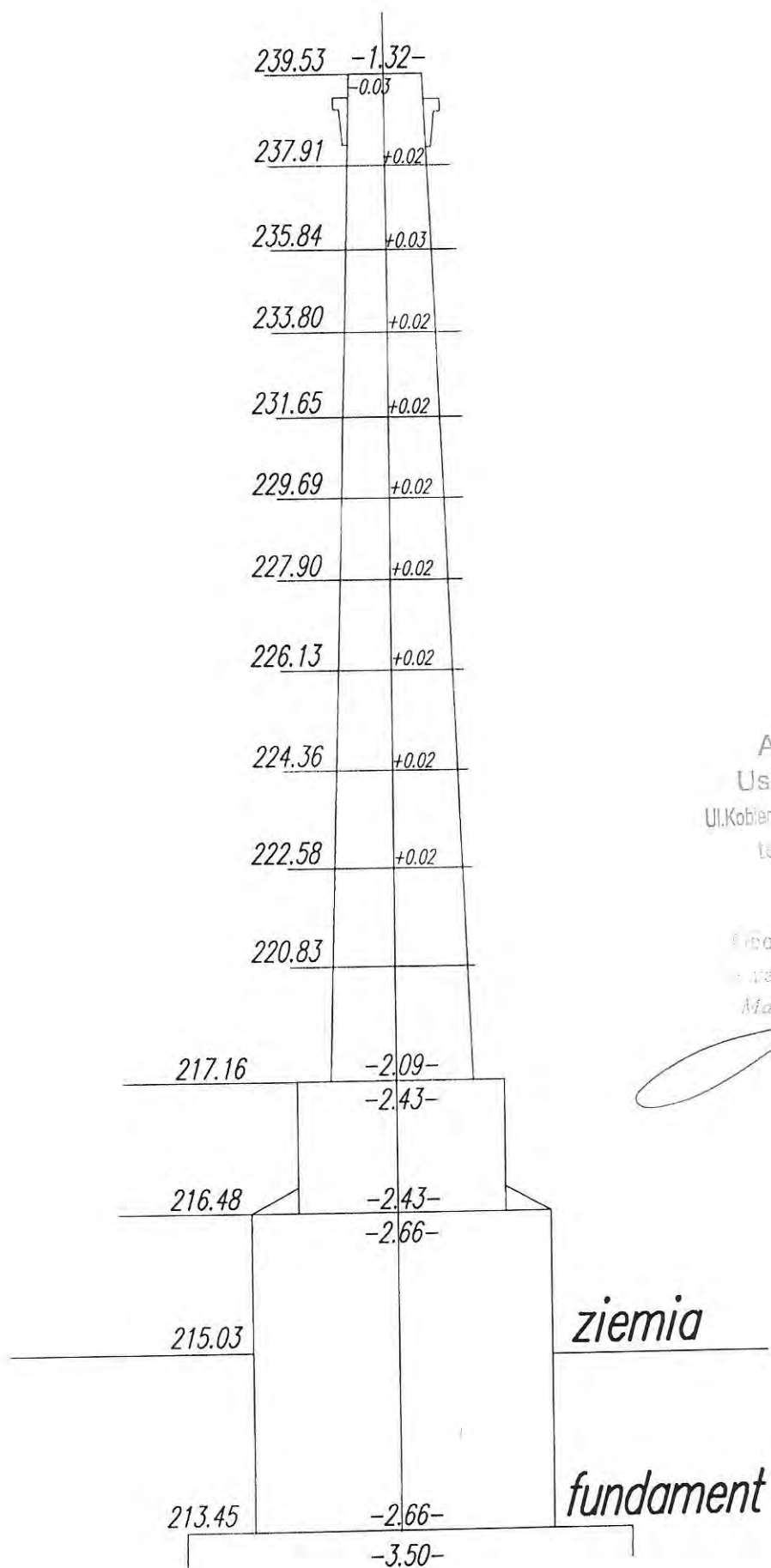
Artur Kędzierski
Usługi geodezyjne
Ul. Kobierzyńska 1/59-B, 30-383 Kraków
tel. 71 3243 719

Geodeta uprawniony
w zakresie I nr 1720
Artur Kędzierski



Artur K...owski
Usługi...zyjne
Ul. Kobierzyńska... 3-363 Kra...
tel. 50... 719

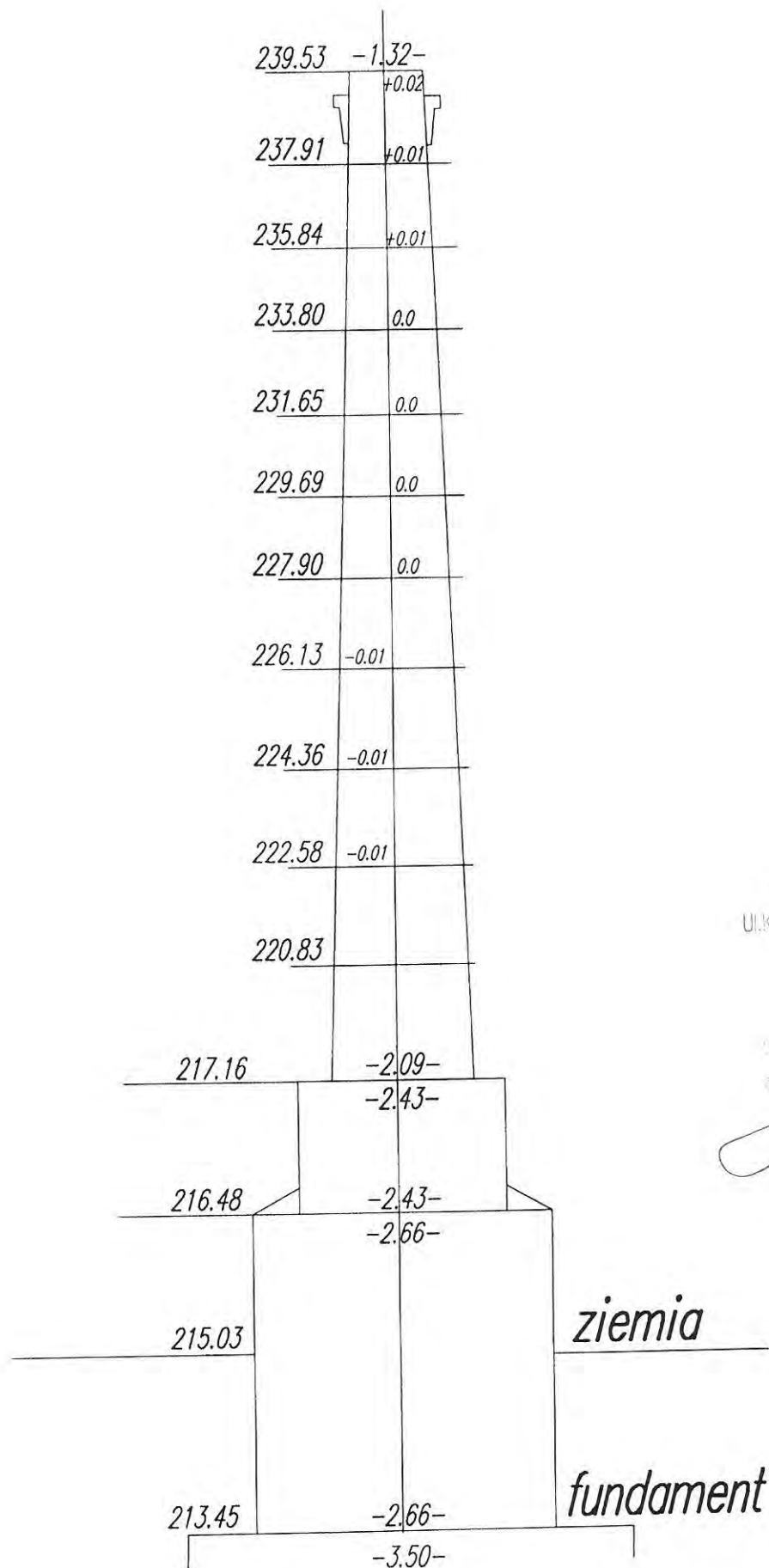
Geodeta uprawniony
w zakresie nr 17203
Mariusz Kędzierski



Artur Kędzieraki
Usługi Geodezyjne
Ul. Kobierzyńska 63/59-B. 30-522 Wrocław
tel. 506 243 773

Geodeta uprawniony
zakresie I nr 1710
Mariusz Kędziński

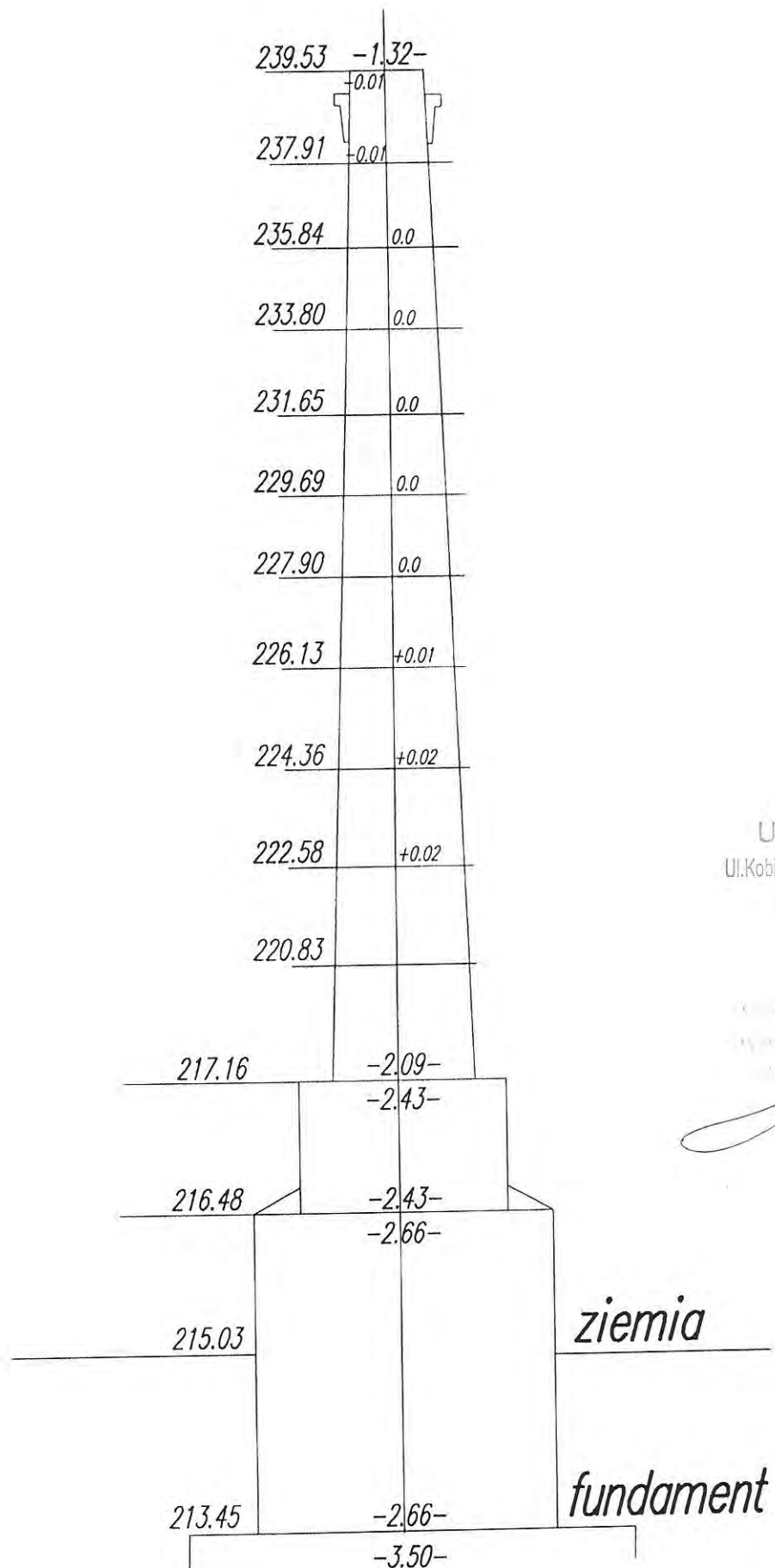
oś I



Artur Kędzierski
Usługi Geodezyjne
Ul. Kottlerzyńska 63/69-B, 30-363 Kraków
tel. 506 243 719

Geodeta uprawniony
w zakresie nr 1720
Mariusz Kędzierski

oś II



Artur Kędzierski
Usługi Geodezyjne
Ul. Kobierzyńska 53/59-55 30-068 Kraków
tel. 506 243 719

[Signature]

oś III

WYKAZ WSPÓŁRZĘDNYCH

Nr	X	Y	H
1	5548951.90	7424157.25	213.247
2	5548952.12	7424156.56	213.580
3	5548954.43	7424160.99	214.968
4	5548951.07	7424159.98	215.066
5	5548952.43	7424157.15	
6	5548951.63	7424159.71	
7	5548954.17	7424160.48	
8	5548952.31	7424158.04	218.706
8.	5548954.04	7424157.85	
9	5548952.08	7424158.89	218.704
9.	5548952.51	7424159.78	
10	5548953.45	7424160.03	218.701
10.	5548953.11	7424157.61	
11	5548954.25	7424159.60	218.858
11.	5548954.51	7424158.72	
12	5548952.62	7424159.64	220.829
13	5548952.66	7424159.62	222.580
14	5548952.68	7424159.59	224.356
15	5548952.70	7424159.57	226.134
16	5548952.72	7424159.54	227.905
17	5548952.75	7424159.51	229.690
18	5548952.78	7424159.47	231.649
19	5548952.80	7424159.44	233.796
20	5548952.82	7424159.42	235.844
21	5548952.85	7424159.38	237.911
22	5548952.84	7424159.32	239.531
23	5548955.49	7424157.66	215.220
24	5548952.33	7424158.35	220.883
25	5548952.37	7424158.37	222.607
26	5548952.40	7424158.39	224.398
27	5548952.40	7424158.39	226.166
28	5548952.54	7424158.46	231.666
29	5548952.58	7424158.49	233.681
30	5548952.61	7424158.51	235.835
31	5548952.65	7424158.53	237.877
32	5548954.97	7424157.92	217.946
33	5548954.30	7424158.50	220.954
35	5548954.02	7424158.61	233.823
36	5548953.85	7424158.65	239.734

Artur Kędzierski
Usługi Geodezyjne
Ul. Kobierzyńska 63/59-b 30-363 Kr
tel. 806 243 719

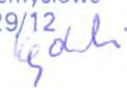
Geodeta uprawniony
w zakresie Lm 17203
Mariusz Kędzierski

Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe
murowanego komina znajdującego się na terenie
kampusu Politechniki Krakowskiej

AUTOR:

mgr inż. Mariusz Kędzierski

mgr inż. Mariusz Kędzierski
Ręczozawca Budowlany w specjalności
konstrukcyjno-budowlanej obejmującej
projektowanie i wykonawstwo w zakresie:
maszty i kominy przemysłowe
Nr RZE/X/0029/12



Kraków, wrzesień 2017

OBLICZENIA STATYCZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWE

Trzon murowany - wymiarowanie na stan graniczny użytkowania (zarysowanie) - stadium eksploatacji

I. Dane komina wolnostojącego:

I.1. Dane geometryczne

$$\begin{aligned} H_w &:= 24.69 \text{ m} && \text{- poziom wylotu} \\ D_{zd} &:= 244 \text{ cm} && \text{- średnica zewnętrzna dolna (teoretyczna)} \\ D_{zg} &:= 130 \text{ cm} && \text{- średnica zewnętrzna górna} \\ D_{sr} &:= 0.5(D_{zg} + D_{zd}) = 187 \text{ cm} && \text{- średnia} \end{aligned}$$

I.2. Dane materiałowe

$$\tau := 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \text{- ciężar własny cegły kominówki}$$

Przyjęto cegłę kominową przy zaprawie marki M1,5: $R_{mk} := 2.0 \text{ MPa}$

II. Podstawowe dane geometryczne i przekroje:

Odcinki obliczeniowe:	Grubości ściany:	Środki odcinków:	$D''_z(h) := D_{zd} - \left[\frac{(D_{zd} - D_{zg})}{H_w} \right] h$
--------------------------	---------------------	---------------------	---

$H_w := \begin{pmatrix} 0.00 \\ 3.82 \\ 7.73 \\ 10.77 \\ 13.79 \\ 16.75 \\ 19.93 \\ 22.70 \\ 24.69 \end{pmatrix} \text{ m}$	$t := \begin{pmatrix} 73 \\ 53 \\ 45 \\ 40 \\ 35 \\ 30 \\ 25 \\ 20 \end{pmatrix} \text{ cm}$	$z := \begin{pmatrix} 0.5(H_1 + H_0) \\ 0.5(H_2 + H_1) \\ 0.5(H_3 + H_2) \\ 0.5(H_4 + H_3) \\ 0.5(H_5 + H_4) \\ 0.5(H_6 + H_5) \\ 0.5(H_7 + H_6) \\ 0.5(H_8 + H_7) \end{pmatrix}$	$D_z := \begin{pmatrix} 266 \\ 254 \\ 209 \\ 194 \\ 180 \\ 167 \\ 152 \\ 139 \end{pmatrix} \text{ cm} \quad D''_z(z) = \begin{pmatrix} 2.352 \\ 2.173 \\ 2.013 \\ 1.873 \\ 1.735 \\ 1.593 \\ 1.456 \\ 1.346 \end{pmatrix} \text{ m}$
---	--	---	--

$A = \begin{pmatrix} 4.426 \\ 3.347 \\ 2.318 \\ 1.935 \\ 1.594 \\ 1.291 \\ 0.997 \\ 0.748 \end{pmatrix} \text{ m}^2$	$J = \begin{pmatrix} 2.356 \\ 1.808 \\ 0.838 \\ 0.612 \\ 0.443 \\ 0.317 \\ 0.209 \\ 0.136 \end{pmatrix} \text{ m}^4$
--	--

III. Obliczenie obciążenia wiatrem:

Strefa obciążenia wiatrem: I Typ terenu: B $r := 0.1$

$$q_k := 300 \text{ Pa}$$

$$q_k = 300 \text{ Pa}$$

$$v_k := 22 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad - \text{charakterystyczne ciśnienie prędkości wiatru}$$

$$H_w = 24.69 \text{ m} < 100 \text{ m} \quad \gamma_d := 1.35 \quad \beta := 2.0$$

$$\frac{H_w}{D_{sr}} = 13.203 < 25$$

$$C_x := 0.9 \times \left(1 - 0.25 \log \left(25 \times \frac{D_{sr}}{H_w} \right) \right) \quad C_x = 0.838$$

$$k := 0.8 \quad h_o := 18 \text{ m} \quad \alpha := 0.19 \quad C_e := k \times \left(\frac{z}{h_o} \right)^{2\alpha} \quad p_k := 1.2 \times q_k \times C_e \times C_x \times \beta \times \gamma_d$$

$$H = \begin{pmatrix} 0 \\ 3.82 \\ 7.73 \\ 10.77 \\ 13.79 \\ 16.75 \\ 19.93 \\ 22.7 \\ 24.69 \end{pmatrix} \text{ m} \quad z = \begin{pmatrix} 1.91 \\ 5.775 \\ 9.25 \\ 12.28 \\ 15.27 \\ 18.34 \\ 21.315 \\ 23.695 \end{pmatrix} \text{ m} \quad C_e = \begin{pmatrix} 0.341 \\ 0.519 \\ 0.621 \\ 0.692 \\ 0.752 \\ 0.806 \\ 0.853 \\ 0.888 \end{pmatrix} \quad p_k = \begin{pmatrix} 0.278 \\ 0.423 \\ 0.506 \\ 0.563 \\ 0.612 \\ 0.656 \\ 0.695 \\ 0.723 \end{pmatrix} \times \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

IV. Wyznaczenie sił przekrojowych i mimośródów:

$$N = \begin{pmatrix} 1.063 \times 10^3 \\ 742.036 \\ 493.407 \\ 359.49 \\ 248.447 \\ 158.781 \\ 80.767 \\ 28.271 \end{pmatrix} \text{ kN} \quad M = \begin{pmatrix} 323.28 \\ 232.396 \\ 153.098 \\ 102.711 \\ 62.491 \\ 32.779 \\ 11.58 \\ 1.99 \end{pmatrix} \text{ kNm} \quad e_0 = \begin{pmatrix} 0.304 \\ 0.313 \\ 0.31 \\ 0.286 \\ 0.252 \\ 0.206 \\ 0.143 \\ 0.07 \end{pmatrix} \text{ m}$$

V. Obliczenie naprężeń:

$$\frac{e_{0i}}{R'_{z_i}} = \frac{r_i}{R'_{z_i}} = A' := \begin{pmatrix} 1.83 \\ 1.86 \\ 1.90 \\ 1.87 \\ 1.81 \\ 1.70 \\ 1.52 \\ 1.27 \end{pmatrix}$$

0.249
0.277
0.298
0.294
0.279
0.248
0.189
0.101

0.402
0.532
0.568
0.588
0.612
0.64
0.671
0.713

VI. Sprawdzenie nośności:

$$\sigma_{mR_j} := \left(0.40 + 0.15 \times \frac{H_w - H_j}{H_w} \right) \times R_{mk}$$

$$\sigma_{0_j} := \frac{N_j}{A_j} \quad \sigma_{m_j} := \sigma_{0_j} \times A'_j$$

$$\sigma_0 = \begin{pmatrix} 0.24 \\ 0.222 \\ 0.213 \\ 0.186 \\ 0.156 \\ 0.123 \\ 0.081 \\ 0.038 \end{pmatrix} \text{MPa} \quad \sigma_m = \begin{pmatrix} 0.44 \\ 0.412 \\ 0.404 \\ 0.347 \\ 0.282 \\ 0.209 \\ 0.123 \\ 0.048 \end{pmatrix} \text{MPa} < \sigma_{mR} = \begin{pmatrix} 1.1 \\ 1.054 \\ 1.006 \\ 0.969 \\ 0.932 \\ 0.896 \\ 0.858 \\ 0.824 \end{pmatrix} \text{MPa} \quad \frac{\sigma_{m_i}}{\sigma_{mR_i}} = \begin{pmatrix} 40 \\ 39.1 \\ 40.2 \\ 35.8 \\ 30.2 \\ 23.3 \\ 14.3 \\ 5.8 \end{pmatrix} \%$$

Komin spełnia warunki dopuszczalnych naprężeń ściskających

σ_m wg. PN-88/B-03004