

Prognozowanie zakresu naprawy powłoki wewnętrznej komina przemysłowego na podstawie badań termowizyjnych



prof. dr hab. inż.
JAKUB MARCINOWSKI
Uniwersytet Zielonogórski
Instytut Budownictwa
ORCID: 0000-0001-6834-0843



dr hab. inż.
WOŁODYMYR SAKHAROV
Uniwersytet Zielonogórski
Instytut Budownictwa
ORCID: 0000-0002-9381-3283

Badania termowizyjne znajdują szerokie zastosowanie w medycynie i technice. W pracy zaprezentowano przykład wykorzystania kamery termowizyjnej do oszacowania zakresu napraw wewnętrznych ceramicznych powłok izolacyjnych w żelbetowym kominie przemysłowym.

Wstęp

Ocena stanu technicznego konstrukcji obiektów strategicznych, do których można zaliczyć kominy przemysłowe, związana jest z dużymi trudnościami technologicznymi. Wynikają one z braku bezpośredniego dostępu do wnętrza, które pozostaje w kontakcie ze środowiskiem agresywnym o wysokiej temperaturze. Ważnym elementem przygotowań do remontów kominów przemysłowych jest ustalenie zakresu niezbędnych napraw. Zakres napraw z kolei musi być znany, by zaplanować czas wyłączenia komina z eksploatacji i budżet remontu. Stosunkowo łatwo ocenić stan techniczny powłoki zewnętrznej komina. Można to zrobić wizualnie z wykorzystaniem alpinistów czy dronów. Ocena stanu technicznego powłok wewnętrznych w trakcie eksploatacji komina jest dużo trudniejsza. Można w tym celu wykorzystać kamery termowizyjne, wykonując termogramy w okresie dużych kontrastów termicznych między temperaturą spalin w kominie a temperaturą powłoki zewnętrznej pozostającej w kontakcie z powietrzem atmosferycznym. Obserwowane na termogramach kontrasty w rozkładzie temperatur są dowodem uszkodzeń wewnętrznej powłoki izolacyjnej i wskazują zakres ewentualnych napraw.

Inwentaryzacja uszkodzeń konstrukcji budowlanych na podstawie analizy emisji termicznej jest wykorzystywana od dawna [1]. Ujawnione za pomocą termowizji anomalie termiczne pozwalają ustalić ukryte uszkodzenia wewnętrzne. W przypadku kominów, gdy źródło termiczne reprezentują gazy unoszące się do atmosfery, uszkodzenie wewnętrznej powłoki izolacyjnej będzie skutkowało zwiększeniem gradientu temperatury na powierzchni zewnętrznej. Takie podejście jest stosowane w okresowych ocenach jakościowych sta-

nu technicznego kominów przemysłowych [2]. Zastosowanie nowoczesnej termowizji w badaniu kominów wysokich pozwala nie tylko na ujawnienie stref uszkodzeń, ale także umożliwia oszacowanie ich wpływu na rozkład naprężeń [3]. Pełna ocena stanu technicznego wnętrza komina jest możliwa przy użyciu specjalistycznych dronów skanujących, pracujących od wewnątrz [4].

W prezentowanej pracy przedstawiono szczegółowo procedurę oceny stanu technicznego wewnętrznych powłok izolacyjnych komina żelbetowego. W procedurze tej wykorzystano kamerę termowizyjną, wykonując szereg termogramów w relatywnie chłodne dni.

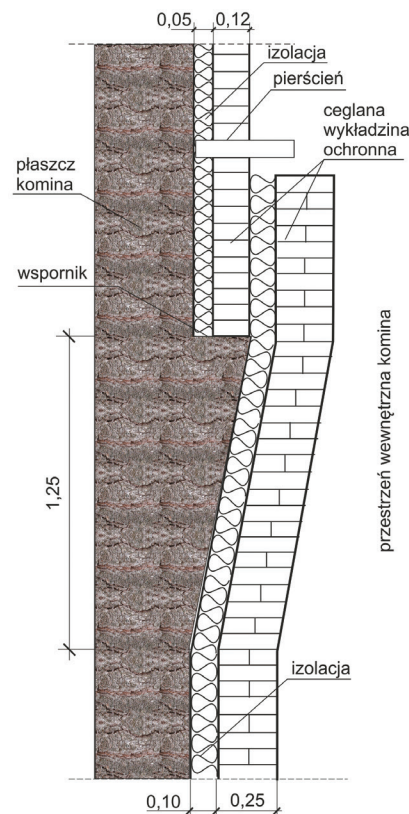
Celem badań było ustalenie obecności ewentualnych uszkodzeń izolacji termicznej komina żelbetowego i oszacowanie globalnej powierzchni ich występowania. Należało zbadać możliwie całą powierzchnię komina w trakcie jego eksploatacji, czyli w fazie odprowadzania gorących spalin.

Wewnętrzna powierzchnia kominów żelbetowych jest pokryta ceramiczną wykładziną ochronną na całej wysokości. Wykładzina ma chronić żelbetowy płaszcz komina przed szkodliwym działaniem wysokiej temperatury spalin. Jej zadaniem jest też zmniejszenie strat ciepła w gazach spalinowych, co ma znaczenie dla dobrego ciągu w kominie. Wykładzinę wykonuje się z dobrze wypalanej cegły (czasami cegły szamotowej) na zaprawie cementowo-wapiennej, a czasami z cegły kwasoodpornej na zaprawie kwasoodpornej – w przypadku gazów bardzo agresywnych.

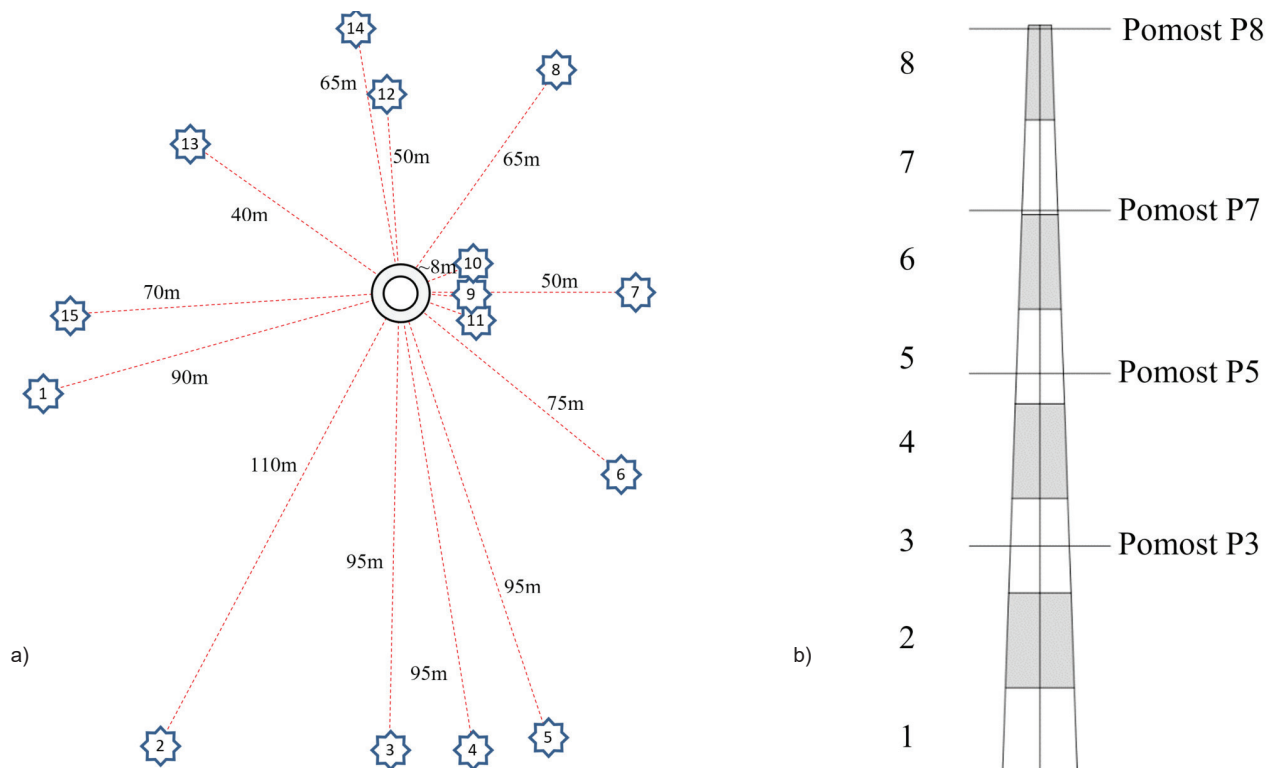
Grubość wykładziny wynosi zwykle 12 cm, a w dolnej części kominów dymowych – 20–25 cm (por. [5]). Wykładzinę należy wykonywać w postaci powłok o wysokościach od cinkowo nie wyższych niż 10 m, przy czym

każdy z nich spoczywa na specjalnie w tym celu uformowanym pierścieniu wspornikowym (por. rys. 1). Przestrzeń pomiędzy ścianką trzonu a wykładziną (5–15 cm) wypełnia się materiałem izolacyjnym.

Wykładzina ceglana pokazana na rysunku podlega zużyciu technicznemu. Okresowy remont komina polega na odtworzeniu zniszczonej wewnętrznej okładziny ochronnej. Wcze-



Rys. 1. Typowe rozwiązanie izolacji wewnętrznej w kominie żelbetowym



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia: a) stanowisk pomiarowych, b) stref i pomostów komina

śniej należy oczywiście oszacować zakres niezbędnych napraw i w tym celu można wykorzystać metodę termowizyjną.

Realizacja badań termowizyjnych

Podczas badania została wykorzystana kamera termowizyjna firmy Fluke, model Ti50. Kamera umożliwia pomiar i zobrazowanie promieniowania podczerwonego pochodzącego od badanego obiektu oraz cyfrową rejestrację rozkładu temperatur na powierzchni badanego obiektu. Tak wykonywane były poszczególne termogramy wykorzystane w analizie.

Badania były przeprowadzone w chłodny dzień letowy. Polegały one na rejestrowaniu obrazów termowizyjnych każdej ze stron komina ze stanowisk wcześniej ustalonych (rys. 2a). Temperatura powietrza wynosiła ok. 7°C. Zakres temperatury potrzebny do uzyskania odpowiednich kontrastów, a co za tym idzie, wykazania nieciągłości izolacji oraz wielkości zniszczeń w wykładzinie wewnętrznej komina, został określony w skali 0÷25°C.

Analiza termowizyjna była przeprowadzona z poziomu terenu przy użyciu statywu. Wysokość komina wynosi 200 m. W celu uzyskania maksymalnej dokładności zdjęcia termowizyjne były wykonywane odcinkowo z różnych kierunków komina.

Zdjęcia termowizyjne zostały nałożone na schemat komina. Dolna granica skali temperatury była ograniczona wartością temperatury tła. To pozwoliło na wydzielenie stref o podwyższonej temperaturze związanej z możliwymi uszkodzeniami powierzchni wewnętrznej komina.

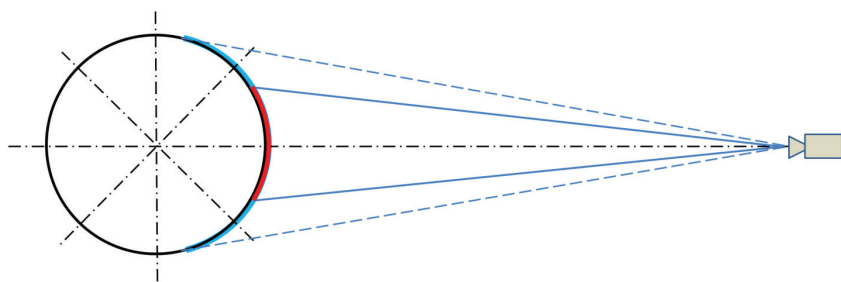
Schemat każdego widoku komina składa się z 8 numerowanych stref (1 – strefa najniższa, 8 – strefa górna) oznaczonych w kolorach jasnych i ciemnych, które odpowiadają strefom komina o kolorach białym oraz czerwonym (rys. 2b). Wysokość każdej strefy wynosi około 25 m. Linie poziome oznaczają poziom rozmieszczenia pomostów technicznych. Każda strefa na poszczególnych schematach analizy termowizyjnej komina może być jednoznacznie identyfikowana z jednym punktem obserwacji (stanowiskiem) oznaczonym przez

symbol St oraz numerem punktu i strefy. Pomosty są oznakowane przez literę P oraz numer strefy, gdzie został on umieszczony.

Ze względu na dużą odległość od obiektu rozdzielczość termogramu dla poszczególnych części badanej strefy komina spada wraz z wysokością, ale mimo to pozwala zarejestrować strefy zmian temperatury. Badania wstępne pokazały, że w takich warunkach przez różną odległość od punktu obserwacji do badanej powierzchni oraz obniżoną intensywność promieniowania z powodu odchylenia powierzchni bocznych uzyskuje się istotną redukcję strefy informacyjnej na widocznej powierzchni komina (linia czerwona na rys. 3).

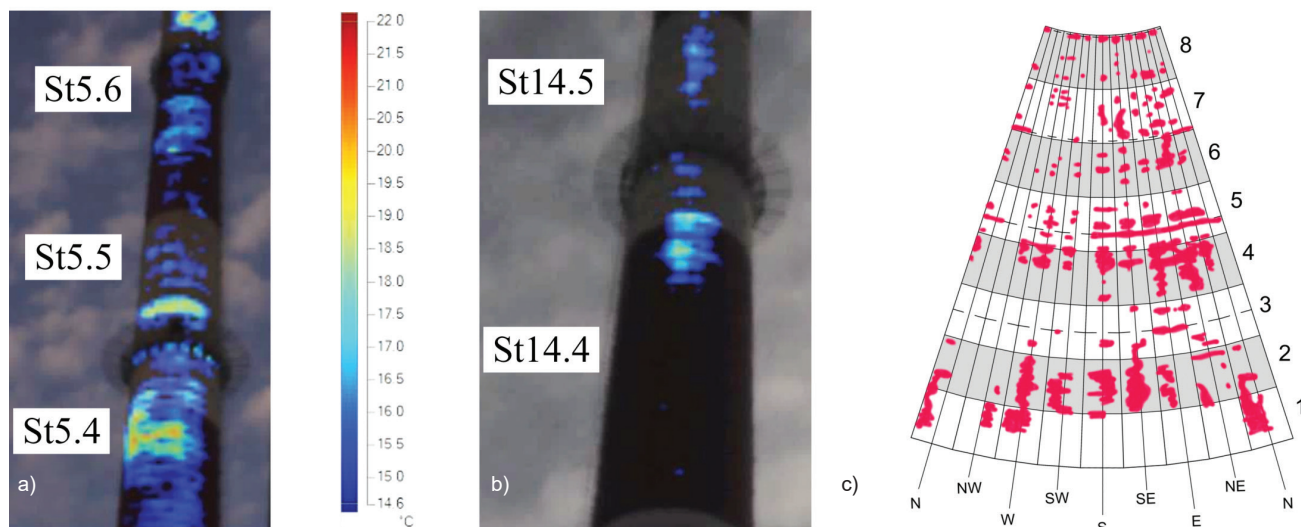
Oznacza to, że z jednej pozycji obserwacji można zbadać sektor powierzchni o kącie dużo mniejszym od 90 stopni. Z tego powodu badanie celowo przeprowadzono z 8 kierunków. W celu zapewnienia lepszej rozdzielczości, w szczególności dla górnej części każdego punktu obserwacji, wykonywano szereg zdjęć (około 6–7) termowizyjnych w kierunku pionowym komina. Ogólna liczba zdjęć dla jednej sesji badawczej wynosiła około 90.

Po analizie otrzymanych danych średnia temperatura tła na kominie wyniosła około 13,5–14,5°C i te obszary traktowano jako pozbawione uszkodzeń. Na rys. 4. pokazano zdjęcia termowizyjne łączone z odpowiednim widokiem komina. Dolna granica temperatury przy poszukiwaniu anomalii temperatury została ustalona na poziomie 14,5°C. Ze strony północno-wschodniej (stanowisko St5, kierunek N–E) obszary maksymalnych temperatur znajdowały się na odcinku strefy 7, na górze strefy 4 i w pobliżu pomostu P5



Rys. 3. Schemat ekspozycyjny komina z zaznaczeniem strefy widocznej oraz strefy informacyjnej





Rys. 4. Wyniki badań termowizyjnych: a) zdjęcia ze stanowiska St 5, b) zdjęcia ze stanowiska St 14, c) schemat potencjalnych uszkodzeń płaszczka komina

(rys. 4a). Temperatura w tych miejscach mieściła się w zakresie 20–21°C. Nieco niższa temperatura, około 17–18°C została zarejestrowana w strefach 6 i 8. W pozostałych strefach temperatura była niższa od 16,5 stopnia. Z przeciwnej strony (stanowisko St14, kierunek W) sytuacja była nieco lepsza i ujawnione anomalie pokrywały mniejszą powierzchnię komina (rys. 4b). Temperatura w górnej części strefy 4 i dolnej strefy 5 wyniosła ok. 18°C. Maksymalne temperatury (powyżej 20°C) zostały zarejestrowane w strefie pomostu P8.

Strefy możliwych uszkodzeń wykazywały temperaturę do około 22°C. W podobny sposób została szczegółowo przeanalizowana cała powierzchnia komina. Otrzymane obszary podwyższonej temperatury zostały naniesione na rozwinięciu płaszczka komina (por. rys. 4c).

Podsumowanie i wnioski

Zgodnie z wykonaną analizą termowizyjną najwięcej stref podwyższonej temperatury, związanych z możliwymi uszkodzeniami wewnętrznymi powłok izolacyjnych komina, znajduje się od strony południowej, południowo-wschodniej i wschodniej. Maksymalna temperatura występuje w strefach na poziomach 4, 5 oraz 7. Warto wspomnieć, że na wielu zdjęciach wyraźnie było widać lokalne podwyższenia temperatury w strefach mocowania pomostów. Niewykluczone, że ten efekt może być związany z występowaniem mostków termicznych w miejscach mocowania. Z dużej odległości trudno to stwierdzić jednoznacznie, dlatego tym strefom warto poświęcić szczególną uwagę podczas oględzin bezpośrednich.

Przedstawiony na rys. 4c plan potencjalnych obszarów uszkodzeń pozwala wstępnie oszacować zakres napraw wewnętrznej, ceramicznej okładziny izolacyjnej na poziomie 15–20% powierzchni wewnętrznej komina. Zakres planowanego remontu będzie moż-

na precyzyjnie określić po wyłączeniu komina z eksploatacji i poddaniu jego powierzchni wewnętrznej starannym oględzinom z wykorzystaniem alpinistów lub drona wyposażonego w kamery.

Literatura:

- [1] Grinzato E., Vavilov V., Kauppinen T., 1998, Quantitative infrared thermography in buildings, „Energy and Buildings” 29(1), 1–9. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00039-X](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00039-X).
- [2] Glukhovskii V.Yu., 2015, Technical Diagnostics and Non-Destructive Testing (in Ukrainian), „Application Of Thermovision Control For Monitoring Of Technical Condition Of Industrial Chimneys” (in Ukrainian), 1, 55–59.
- [3] Maj M., Ubysz A., Hammadeh H., Askifi F., 2019, Non-Destructive Testing of Technical Conditions of RC Industrial Tall Chimneys Subjected to High Temperature, „Materials”, 12(12). <https://doi.org/10.3390/ma12122027>.
- [4] Quenzel J., Nieuwenhuisen M., Droschel D. et al., 2019, Autonomous MAV-based Indoor Chimney Inspection with 3D Laser Localization and Textured Surface Reconstruction, „J. Intell. Robot. Syst.”, 93, 317–335. <https://doi.org/10.1007/s10846-018-0791-y>.
- [5] Kobiak J., Stachurski W., 1960, Konstrukcje żelbetowe, Arkady, Warszawa.

DOI: 10.5604/01.3001.0015.1743

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA
 Marcinowski Jakub, Sakharov Volodymyr, 2021, Prognozowanie zakresu naprawy powłoki wewnętrznej komina przemysłowego na podstawie badań termowizyjnych, „Builder” 9 (290). DOI: 10.5604/01.3001.0015.1743

Streszczenie: Badania termowizyjne znajdują szerokie zastosowanie w medycynie i technice. W pracy zaprezentowano przykład wykorzystania kamery termowizyjnej do oszacowania zakresu napraw wewnętrznych ceramicznych powłok izolacyjnych w żelbetowym kominie przemysłowym. Eksploatowany komin odprowadza gazy spalinowe o wysokiej temperaturze, w efekcie czego rozgrzewa się zarówno powłoka izolacyjna, jak i żelbetowy trzon komina. Termogramy wykonane kamerą termowizyjną od strony zewnętrznej pozwalają odkryć miejsca uszkodzeń powłoki izolacyjnej oraz ewentualne mostki cieplne. Staranny skanining całej powierzchni komina stwarza możliwość oszaco-

wania zakresu ewentualnych napraw powłoki izolacyjnej. Wyniki przykładowych badań termowizyjnych komina przedstawione w artykule potwierdzają przydatność tej metody do detekcji uszkodzeń powłoki izolacyjnej i prognozowania zakresu remontu. Precyzyjne ustalenie zakresu remontu komina odbywa się metodami wizualnymi bezpośrednio lub za pośrednictwem kamer z drona, po wyłączeniu komina.

Słowa kluczowe: komin żelbetowy, termowizja, uszkodzenia, powłoka izolacyjna, planowanie napraw

Abstract: PLANNING THE SCOPE OF REPAIR OF THE INNER COVER OF AN INDUSTRIAL CHIMNEY BASED ON THERMAL IMAGING STUDIES. Thermographic research is widely used in medicine and technology. The paper presents an example of using a thermal imaging camera to estimate the scope of internal repairs, ceramic insulating coatings in a reinforced concrete industrial chimney. The operated chimney discharges exhaust gases at high temperatures, as a result, both the insulating shell and the reinforced concrete shaft of the chimney heats up. Thermograms made with a thermal imaging camera from the outside reveal the places of damage to the insulation coating and possible thermal bridges. Detailed scanning of the entire surface of the chimney makes it possible to estimate the scope of possible repairs of the insulation coating. The results of the exemplary thermal imaging tests of the chimney presented in the article confirm the usefulness of this method for detecting damage to the insulation coating and forecasting the scope of renovation. Precise determination of the scope of the chimney renovation is carried out by visual methods, directly or via cameras from the drone, after shutting down the chimney.

Keywords: reinforced concrete industrial chimney, thermal imaging, damage, insulation cover, planning of repairs