

Maciej Basiura

Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Zastosowanie kamery termowizyjnej w procesie badania prototypów urządzeń

Artykuł przedstawia zagadnienia związane z metodami termowizyjnymi oraz prezentuje próby, jakie pracownicy Zakładu Użytkowania Paliw Instytutu Nafty i Gazu przeprowadzili podczas badań prototypów urządzeń, dążąc do zastąpienia metod konwencjonalnych pomiaru temperatury pomiarem promieniowania podczerwonego, z zastosowaniem kamery FLIR GF320. Przedstawiono wnioski z przeprowadzonych badań i zwrócono uwagę na problemy i zalety bezkontaktowego pomiaru temperatury, starając się odnieść go do konwencjonalnych metod znormalizowanych.

Słowa kluczowe: termowizja, bezkontaktowy pomiar temperatury, termogramy, badania certyfikacyjne sprzętu AGD, badania prototypu sprzętu AGD.

Usage of thermal imaging camera in testing of prototypes

The paper presents issues related to thermal imaging methods and presents attempts which the staff of the Department of Fuel Usage of the Oil and Gas Institute in Krakow carried out during tests of prototypes, whilst trying to replace the conventional method of temperature measuring by measurement in infrared spectrum, using camera FLIR GF320. The article presents conclusions of the tests and highlights the advantages and disadvantages of non-contact temperature measurement, trying to relate it to the conventional normative methods.

Key words: thermography, non-contact temperature measurement, thermograms, household appliances certification tests, household appliances prototype tests.

Wprowadzając na rynek nowo skonstruowane urządzenie, należy je przebadać i poddać procesowi certyfikacji. Podczas badań – zwłaszcza urządzeń grzewczych oraz urządzeń, które w swoim działaniu spalają różnego rodzaju paliwa – ważnymi parametrami pracy są zarówno temperatura samego urządzenia, jego wewnętrznych elementów składowych, manipulatorów i nastawników, a także innych części dostępnych dla użytkownika końcowego, jak i temperatura obiektów otaczających urządzenie cieplne w cyklu jego pracy. Temperatura ma wpływ tak na parametry użytkowe urządzenia, takie jak sprawność i efektywność, jak i na bezpieczeństwo oraz komfort użytkowania.

Pracownicy Zakładu Użytkowania Paliw Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie od lat badają różne aspekty bezpiecznego użytkowania urządzeń spalających paliwa w środowisku domowym i przemysłowym. Z wynikami tych prac można zapoznać się dla przykładu w [5, 11, 15].

Kamera termowizyjna (IR) wydaje się najbardziej adekwatnym urządzeniem pomiarowym, wręcz stworzonym do badania urządzeń grzewczych (z innym zastosowaniem tego typu kamery można się zapoznać w [1, 2, 3]). Pracownicy Zakładu Użytkowania Paliw INiG – PIB starali się zastąpić metody konwencjonalne pomiaru temperatury pomiarem promieniowania podczerwonego, stosując kamerę FLIR GF320 podczas badań prototypów urządzeń. Więcej informacji na temat parametrów technicznych tej kamery można znaleźć w [6]. Metoda pomiaru temperatury za pomocą kamery termowizyjnej została dokładnie opisana w [1, 4, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14]. W pozycjach tych można znaleźć wyjaśnienie stosowanych pojęć (takich jak: emisyjność, współczynnik odbicia, temperatura odbicia), jak również opis sposobu przeprowadzania pomiaru. Warunkiem koniecznym wykonania poprawnego pomiaru termograficznego jest widoczność mierzonego obiektu.

W artykule przedstawiono wnioski z przeprowadzonych badań. Przykłady omawianych problemów zaprezentowano na kolejnych rysunkach. Zwrócono uwagę na trudności i zalety bezkontaktowego pomiaru temperatury, starając się odnieść je do konwencjonalnych metod znormalizowanych.

Rysunek 1 przedstawia termogram panelu sterowania oraz wentylatora nadmuchiowego palnika nagrzewnicy powietrza. Na zaznaczonych obszarach odnaleziono najcieplejsze punkty. Wartość temperatury na termogramie jest obarczona dużym błędem, gdyż elementy nagrzewnicy wykonane są z materiałów o różnej emisyjności (obudowa wymiennika ciepła – blacha stalowa, korpus wentylatora nadmuchiowego – matowe aluminium, panel sterowania – tworzywo sztuczne różnego rodzaju). Kamera oraz posiadane przez Zakład Użytkowania Paliw INiG – PIB oprogramowanie do obróbki termogramów nie mają możliwości stosowania różnej emisyjności i temperatury odbitej dla elementów widocznych na jednym termogramie. Uniemożliwia to określenie wartości temperatury z wymaganą przez normy [10] dokładnością dla elementów widocznych na obrazie. Niemniej jednak uzyskany obraz przynosi istotne korzyści w czasie wykonania badań, gdyż na podstawie tak wykonanego termogramu wystarczy sprawdzić miejsca i obszary, których temperatura jest najwyższa. Użycie czujnika kontaktowego wyspecyfikowanego przez normę może ograniczyć się do kilku punktów, a nie tak jak w przypadku niestosowania termogramu – do sprawdzenia wszystkich dostępnych powierzchni urządzenia i poszukiwania wartości maksymalnych.

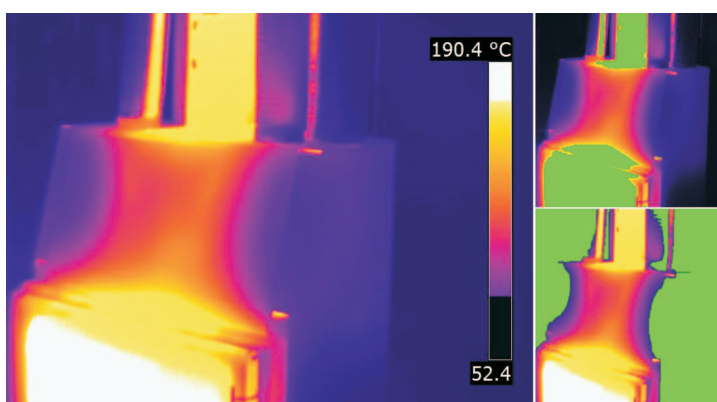
Rysunek 2 prezentuje termogramy wkładu kominkowego wykonane podczas badań. Przedstawiona na nim skala temperatury od 52,4°C do 190,4°C jest czysto obliczeniowa. Kamera FLIR GF320 ma stosunkowo wąskie zakresy mierzonej temperatury, dla których wprowadzone są krzywe kalibracyjne umożliwiające poprawne wyznaczenie jej wartości. Chcąc oceniać temperaturę obudowy wkładu na podstawie termogramu wykonanego kamerą FLIR GF320, należy wykonać to samo zdjęcie kilka razy, tak aby dla każdego ze zdjęć interesujący pomiarowo fragment urządzenia był dobrze reprezentowany w paśmie pomiarowym kamery. Niemniej jednak termogram wykonany w sposób przedstawiony na rysunku 2 jest przydatny do szybkiej identyfikacji mostków cieplnych powstających w pracującym urządzeniu, jak również obszarów potencjalnie najcieplejszych. Z prawej strony tego rysunku przedsta-

wiono miejsca niemieszczące się w zakresie pomiarowym, dla którego wykonany był termogram (na zielono zaznaczono obszary, które nie mieściły się w ustawionym zakresie; u góry – miejsca cieplejsze, na dole – miejsca zimniejsze niż wartości temperatur granicznych zakresu).

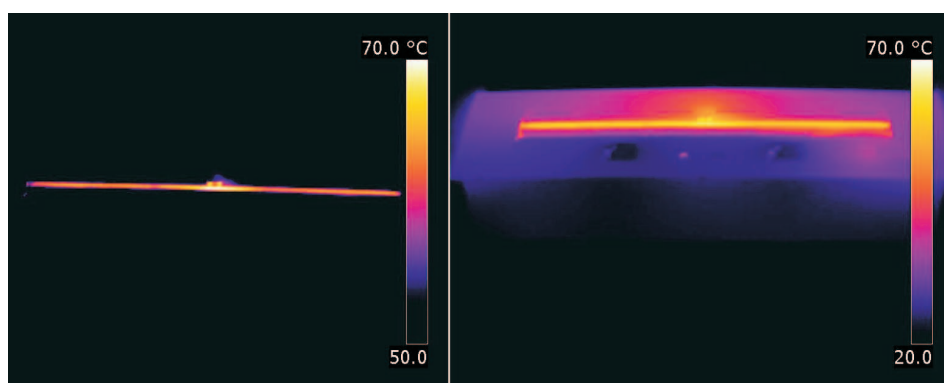
Na rysunku 3 przedstawiono przykład wykonania dwóch termogramów urządzenia w dwóch różnych zakresach pomiarowych kamery FLIR GF320.



Rys. 1. Fragment badanej nagrzewnicy – zaznaczono najcieplejsze punkty w wybranych obszarach

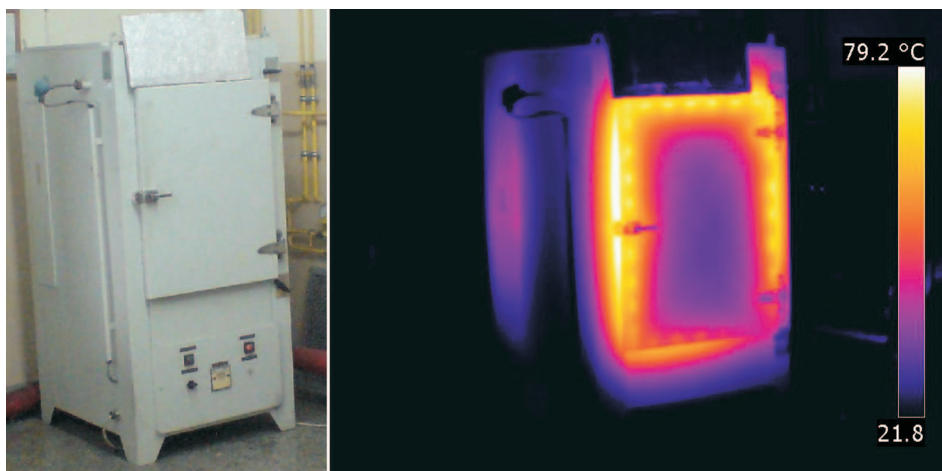


Rys. 2. Termogramy wkładu kominkowego



Rys. 3. Termogramy wykonane w różnych zakresach pomiarowych

Sporządzenie termogramu pracującego urządzenia grzewczego daje natychmiastową odpowiedź na temat występujących w nim mostków cieplnych oraz obrazuje rozkład temperatury. Zaprezentowano to na rysunku 4.

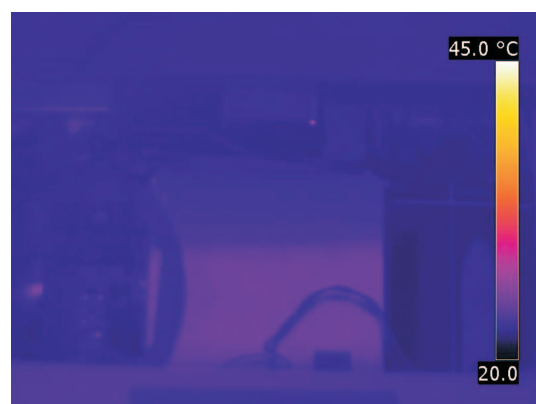


Rys. 4. Suszarka elektryczna – zdjęcie w świetle widzialnym oraz termogram

Termogram jest również bardzo przydatny podczas analizy temperatury części składowych. Dla przykładu w jednym z badań urządzeń elektrycznych należy stabilizować temperaturę wewnętrzną urządzenia poprzez jego działanie w ściśle

określonych warunkach i przez dokładnie wyznaczony czas (parametry zmienne są w zależności od rodzaju urządzenia). W krótkim czasie po odłączeniu urządzenia od zasilania należy sprawdzić temperaturę części składowych i policzyć osiągnięte przez nie w trakcie badania przyrosty temperatury.

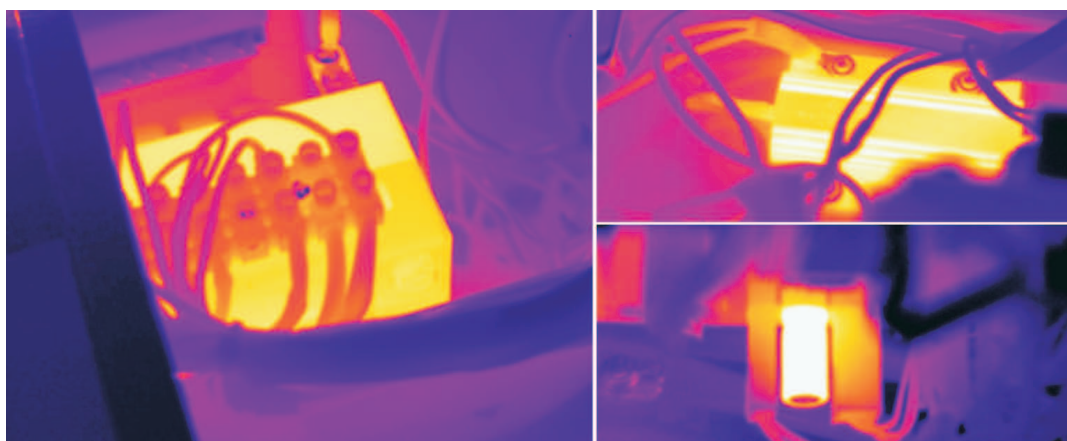
W przypadku bardziej skomplikowanych urządzeń (o dużej liczbie części lub trudnym do nich dostępie) czas wykonania pomiarów termometrem kontaktowym może być zbyt długi, by rzetelnie przeprowadzić procedurę i zdążyć zarejestrować maksymalną temperaturę wszystkich badanych obiektów. Wykonanie termogramu pozwala natychmiast ustalić miejsca i części o najwyższej temperaturze i zmierzyć jej wartość termometrem kontaktowym. W tym przypadku duże nagromadzenie elementów o różnej emisyjności uniemożliwia wnioskowanie na temat wartości temperatury bezpośrednio z termogramu z wymaganą dokładnością. Dodatkowym problemem przy pomiarze wartości temperatury za pomocą kamery termowizyjnej podczas badań bezpieczeństwa elektrycznego może okazać się również brak czasu potrzebnego na wykonanie procedur pomiaru temperatury odbitej i emisyjności dla każdego mierzonego elementu z powodu rozpoczętego procesu studzenia urządzenia tuż po odłączeniu go od zasilania.



Rys. 5. Zdjęcie w IR przed rozpoczęciem nagrzewania



Rys. 6. Zdjęcie w IR po zakończeniu wymaganego czasu pracy



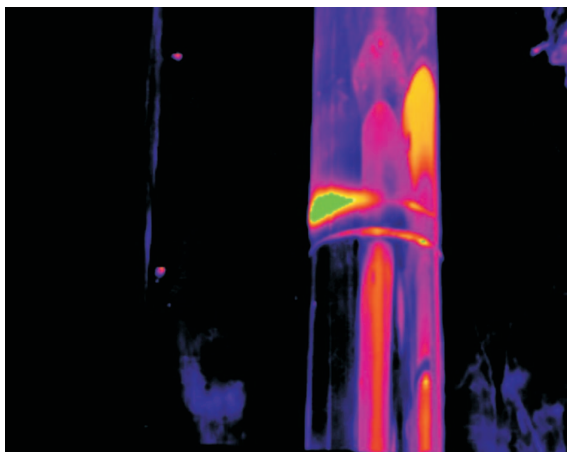
Rys. 7. Termogramy elementów najcieplejszych

W tym przypadku duże nagromadzenie elementów o różnej emisyjności uniemożliwia wnioskowanie na temat wartości temperatury bezpośrednio z termogramu z wymaganą dokładnością. Dodatkowym problemem przy pomiarze wartości temperatury za pomocą kamery termowizyjnej podczas badań bezpieczeństwa elektrycznego może okazać się również brak czasu potrzebnego na wykonanie procedur pomiaru temperatury odbitej i emisyjności dla każdego mierzonego elementu z powodu rozpoczętego procesu studzenia urządzenia tuż po odłączeniu go od zasilania.

Rysunki 5, 6 oraz 7 przedstawiają termogramy urządzenia elektrycznego wykonane przed i po przeprowadzonej procedurze nagrzewania.

Podczas badań przewodów spalinowych obserwacja w paśmie podczerwieni umożliwia szybkie wykrycie defek-

tów i ustalenie ich miejsc na powierzchni rozgrzanego kominu. Przykład przedstawiono na rysunku 8 – zielony kolor wskazuje najcieplejsze miejsce na powierzchni badanego kominu. Defekty te mogą powstawać na przykład z powodu braku izolacji lub na skutek złego połączenia odcinków w dwuściennym izolowanym kominie. Termogramy te są przydatne pomimo wielu odbić pojawiających się na powierzchni bocznej kominu, przeważnie wykonanego z materiału o niskiej emisyjności.

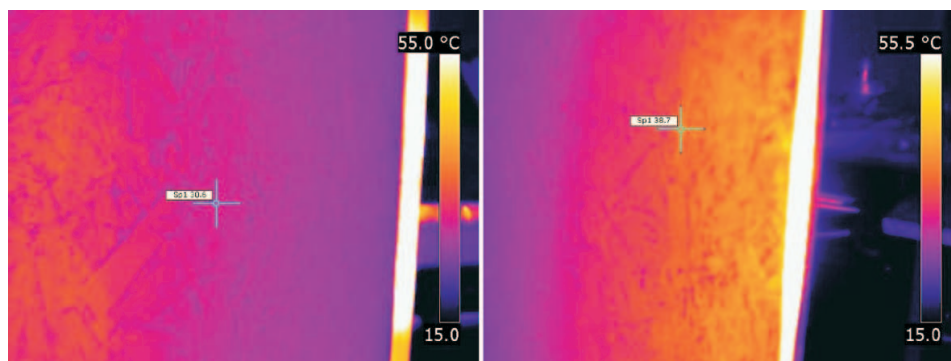


Rys. 8. Dwuścienny przewód kominowy z zaznaczonym przegrzaniem (zielony kolor)

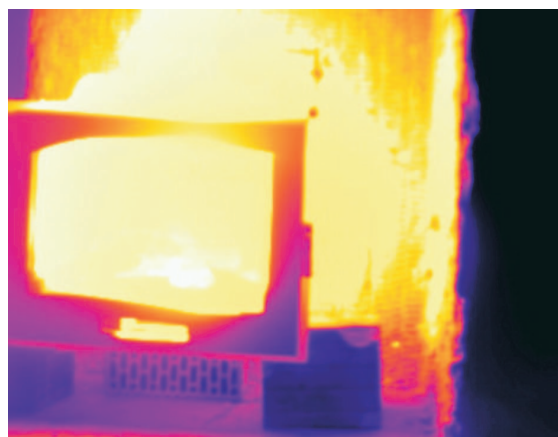
W stabilnych warunkach cieplnych wykonanie termogramu umożliwia również pomiar wartości temperatury obserwowanego obiektu. Niestety, podczas badań urządzeń grzewczych badania są najczęściej prowadzone w pewnych etapach czasowych, co umożliwia ocenę całego cyklu pracy urządzenia. Cykle takie pod względem przepływu ciepła i nagrzewania się powierzchni są cyklami dynamicznymi, w których zmiana temperatury pomiędzy wartością maksymalną i minimalną sięga nierzadko setek stopni Celsjusza. Wraz ze wzrostem temperatury rośnie emisyjność obiektu i maleje współczynnik odbicia, a co za tym idzie – zmniejsza się wpływ temperatury odbitej na wartość pomiaru. Dlatego pomiar temperatury podczas procesu nagrzewania metodami termowizyjnymi, z zastosowaniem kryteriów znormalizowanych, wymaga stałego nadzoru i wykonywania dodatkowych rejestracji przez operatora, umożliwiających identyfikację temperatury odbitej i emisyjności obserwowanego obiektu, a także zwracania szczególnej uwagi na możliwość przekroczenia zakresu pomiarowego. Działania te w dużo większym stopniu absorbują prowadzącego badania niż metody znorma-

lizowane, w których używa się układu pomiarowego składającego się z termometrów przylgowych. W celu wprowadzenia metody termowizyjnej do kanonu znormalizowanych metod oceny nagrzewania się badanych obiektów konieczne jest wypracowanie zupełnie nowej procedury i budowy nowych stanowisk pomiarowych, być może z użyciem materiałów o znanej emisyjności, a także stworzenie nowych kryteriów oceny, odpowiednich dla metod bezkontaktowych.

Podczas badań urządzeń grzewczych równie ważnym parametrem jest minimalna odległość umieszczenia materiałów palnych od urządzenia, która gwarantuje nienagrzewanie się tych materiałów powyżej ustalonej granicy, w jego cyklu pracy. Pomiar kamerą termowizyjną – podobnie jak w przypadku pomiaru temperatury elementów badanego urządzenia i z tych samych powodów – jest absorbujący dla badającego i nie niesie za sobą dodatkowych korzyści, ułatwienia lub przyśpieszenia badań względem metod konwencjonalnych – przy zastosowaniu do oceny kryteriów obecnie zawartych w normach odniesienia. W zależności od kąta obserwacji badane urządzenie odbija się w różnym stopniu w ścianach pomiarowych (rysunek 9). Odbicie rozgrzanego urządzenia grzewczego w ścianie pomiarowej jest głównym zjawiskiem widocznym na termogramie i istotnie wpływa na wartość mierzonej temperatury (rysunek 10).



Rys. 9. Termogramy ściany pomiarowej wykonane z dwóch stron



Rys. 10. Termogram wkładu kominkowego – na narożniku pomiarowym widoczne są odbicia rozgrzanego wkładu

Wnioski

Po wykonaniu eksperymentów i przeanalizowaniu otrzymanych wyników stwierdzono, że w celu wykorzystania wszystkich możliwości termowizji w badaniach certyfikacyjnych konieczne jest opracowanie nowych metod pomiarowych i kryteriów akceptacji dla poszczególnych parametrów temperaturowych oraz oceny bezpieczeństwa użytkownika.

W przypadku wykorzystania obecnie stosowanych kryteriów oceny i wytycznych metod badawczych metoda termowizyjna jest bardziej absorbuująca dla przeprowadzających badania niż wykonanie ich procedurami konwencjonalnymi. Obecne stanowiska pomiarowe (np. ściany pomiarowe) powodują wzmocnienie wad metod termowizyjnych. Aby możliwe stało się wykorzystanie wszystkich zalet tego podejścia, co niosłoby za sobą usprawnienie badań i szybszą analizę, konieczne jest opracowanie i wykonanie nowych stanowisk pomiarowych oraz przygotowanie odpowiednich kryteriów oceny urządzeń na podstawie wyników pomiarów temperatury metodą termowizyjną. Wydaje się, że wykonanie ścian, narożników pomiarowych i stanowisk z materiałów dobrze przewodzących ciepło, o małej inercji cieplnej i jednocześnie o współczynniku emisji bliskim jedności, pozwoliłoby na obserwację ścian od drugiej strony (bez bezpośredniego wpływu temperatury odbitej pochodzącej od urządzenia grzewczego),

co uwolniłoby wartość mierzoną od ewentualnego wpływu odbicia rozgrzewanego urządzenia poddanego badaniu. Przy pomiarze temperatur samego urządzenia dobre efekty może dać przygotowywanie do badań manipulatorów i elementów dostępnych dla użytkownika poprzez pokrywanie ich farbą lub oklejanie taśmą o wysokiej znormalizowanej emisyjności (bliskiej jedności) niezmiennej w trakcie zmian temperatury. Oczywiście w przypadku opracowania nowych stanowisk i szeroko pojętej metodyki badań modyfikacji musiałyby ulec również kryteria oceny, tzn. dopuszczalne poziomy temperatury osiąmane przez poszczególne elementy urządzenia podczas badań. Tak duże zmiany wymagają opracowania zupełnie nowych wytycznych oraz zainteresowania nową metodą odpowiednich komitetów normalizacyjnych.

Wizualizacja promieniowania cieplnego obserwowanych obiektów doskonale nadaje się do prac badawczo-rozwojowych i prototypowych oraz może stanowić pomoc podczas badań certyfikacyjnych. Na termogramach wprost widoczne są mostki cieplne działających urządzeń grzewczych. Termogramy umożliwiają ocenę założeń konstrukcyjnych dotyczących projektowanych rozkładów temperatur, ocenę jakości wykonania izolacji, równomierności rozgrzewania wymienników ciepła itp.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2014, nr 5, s. 320–324

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Wykorzystanie metod termowizyjnych w badaniach certyfikacyjnych Zakładu GU – opracowanie procedur badawczych* – praca INiG na zlecenie MNiSW; nr archiwalny: DK-4100-14/13, nr zlecenia: 0014/GU/13.

Literatura

- [1] Basiura M., Rataj M.: *Przegląd i adaptacja procedur badawczych z zakresu pomiarów termowizyjnych*. Dokumentacja wewnętrzna INiG, 2012.
- [2] Basiura M., Rataj M.: *Wykrywanie emisji gazów węglowodorowych przy wykorzystaniu kamery termowizyjnej FLIR GF320*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna 2012, nr 9, s. 366–368.
- [3] Basiura M., Rataj M.: *Wykrywanie nieuszczelnności w instalacjach i urządzeniach gazowych za pomocą metody obserwacji w paśmie podczerwieni*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna 2013, nr 11, s. 426–429.
- [4] Basiura M.: *Wykorzystanie metod termowizyjnych w badaniach certyfikacyjnych Zakładu GU – opracowanie procedur badawczych*. Dokumentacja wewnętrzna INiG, 2013.
- [5] Gebhardt Z., Czernski G.: *Straty postojowe w kotłach gazowych centralnego ogrzewania*. Nafta-Gaz 2004, nr 4, s. 202–209.
- [6] *Instrukcja obsługi FLIR GF series*. Publ. No. T559460 Rev. a445 – POLISH (PL) – March 25, 2010.
- [7] Knapik D.: *Termowizja – wszystko co musisz wiedzieć, aby prawidłowo wykonać pomiar*. Materiały ze szkolenia, EC Training Center.
- [8] Norma ISO 18434-1:2008 *Condition monitoring and diagnostics of machines – Thermography – Part 1: General procedures*.
- [9] Norma PN-EN 13187:2001 *Właściwości cieplne budynków – Jakosciowa detekcja wad cieplnych w obudowie budynku – Metoda podczerwieni*.
- [10] Normy z zakresu akredytacji Laboratorium Badan Urzadzen Gazo-
wych i Grzewczych (GU-1) oraz Laboratorium Badan Elektrycznych (GU-3) [w:] *Zakres akredytacji laboratorium badawczego Nr AB 041*. Wydanie nr 13. Warszawa, Polskie Centrum Akredytacji, 2013, s. 22–33.
- [11] Rataj M.: *Bezpieczeństwo użytkowania gazowych urządzeń grzewczych z otwartą komora spalania*. Nafta-Gaz 2013, nr 6, s. 455–462.
- [12] Rutkowski P.: *Pomiary termowizyjne w energetyce*. Materiały ze szkolenia, EC Training Center.
- [13] *Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment*. Edycja 2008.
- [14] *Termografia – poziom 1*. Podręcznik szkoleniowy, wersja polska. Infrared Training Center.
- [15] Wojtowicz R.: *Ocena gazu granicznego G21 pod kątem jego przydatności do określenia jakości spalania gazów ziemnych wysokometanowych pochodzących z regazyfikacji LNG w urządzeniach użytku domowego*. Nafta-Gaz 2013, nr 8, s. 599–612.

Mgr inż. Maciej BASIURA

Asystent w Laboratorium Badań Urządzeń Gazowych i Grzewczych w Zakładzie Użytkowania Paliw.

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25A

31-503 Kraków

E-mail: maciej.basiura@inig.pl