

Artur M. HUTNY

Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów,  
Katedra Ekstrakcji i Recykulacji Metali

Rafał WYCZÓŁKOWSKI

Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów,  
Katedra Pieców Przemysłowych i Ochrony Środowiska

Marek WARZECHA

Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów,  
Katedra Ekstrakcji i Recykulacji Metali

## POMIARY EMISYJNOŚCI POWIERZCHNI ZEWNETRZNYCH KADZI STALOWNICZYCH Z WYKORZYSTANIEM KAMERY TERMOWIZYJNEJ

*W artykule przedstawiono badania poświęcone pomiarom emisyjności kadzi stalowniczych. Uzyskano dane dotyczące temperatur w wybranych punktach powierzchni płaszcza analizowanych kadzi, pochodzących z pomiaru stykowego. Dla każdej kadzi zarejestrowano termogramy. Wykazano, że wartość badanego parametru zależy istotnie od stopnia pokrycia kadzi zanieczyszczeniami. Ustalono, że emisyjność powierzchni zewnętrznych badanych kadzi stalowniczych mieści się w zakresie od 0,75 do 0,92.*

*Słowa kluczowe:* kadź stalownicza, emisyjność, termowizja

## EXTERNAL MEASUREMENTS OF THE SURFACE EMISSIVITY OF STEEL LADLES WITH USING THERMAL IMAGING CAMERA

*The article presents research performed to obtain the emission coefficient of the investigated steel ladles. The measurements were performed for selected points in the mantle surface of the analyzed ladle with the direct contact measurement. Thermal images were recorded for different ladles. It has been shown that the value of the examined parameter significantly depends on the degree of coverage of the ladle impurities. It was found that the emissivity of the outer surfaces of the tested steel ladles are in the range from 0.75 to 0.92.*

*Key words:* ladle, emissivity, thermovision

### 1. WPROWADZENIE

Diagnostyka termowizyjna, z uwagi na coraz większe rozpowszechnienie kamer termowizyjnych, staje się bardzo popularną techniką badawczą. Głównymi obszarami wykorzystania termowizji w tym zakresie są: przemysł, budownictwo oraz medycyna [1–3]. W diagnostyce przemysłowej termowizję wykorzystuje się m.in. do oceny stanu przewodów elektrycznych, lokalizacji pęknięć sieci grzewczych, oceny efektywności chłodzenia określonych elementów czy urządzeń. Technika ta niezastąpiona jest również przy badaniach różnego typu urządzeń cieplnych, takich jak piece czy kotły [4–6]. Co jest przy tym istotne, diagnostyka tą metodą może być prowadzona przy pełnym obciążeniu badanych obiektów, bez konieczności przerywania ich normalnej pracy. Kolejną zaletą termowizji jest możliwość szczegółowej analizy zarejestrowanych termogramów. Dokonuje się tego za pomocą specjalnego oprogramowania, które umożliwi wyznaczenie m.in.: obszarów

izotermicznych, histogramów, wartości temperatury minimalnej, średniej oraz maksymalnej, dla dowolnie wybranych podobszarów termogramów, profilowego rozkładu temperatury w dowolnym kierunku [2].

Są jednak pewne mankamenty tej techniki. Wynikają one głównie z istoty działania samych kamer termowizyjnych, czyli z pomiarem promieniowania cieplnego emitowanego przez badany obiekt w zakresie podczerwieni. W efekcie, podczas realizacji pomiarów termowizyjnych, należy uwzględniać problemy związane z radiacyjną wymianą ciepła między badanym obiektem i opromieniowującymi go elementami otoczenia. Z tego powodu jedną z wad termowizji w odniesieniu do badań diagnostycznych jest konieczność posiadania wiedzy na temat własności promiennych badanych powierzchni, które wyraża się za pomocą emisyjności  $\epsilon$ . Wielkość ta wyraża odstępstwo zdolności do emisji promieniowania cieplnego ciał rzeczywistych od ciała doskonale czarnego, dla tej samej temperatury [1, 7]. W teorii radiacyjnej wymiany ciepła wyróżnia się emisyjność całkowitą i monochromatyczną oraz kierunkową i półprzestrzen-

na, co pozwala na wyodrębnienie czterech podstawowych rodzajów tego parametru [8]. Przy pomiarach termowizyjnych wykorzystuje się emisyjność całkowitą półprzestrzenną.

Jednym z zastosowań termowizji w hutnictwie są badania diagnostyczne kadzi stalowniczych. Dzięki takim badaniom uzyskuje się wiedzę na temat pola temperatury na zewnętrznych powierzchniach tych urządzeń, co pozwala na ocenę stanu technicznego ich wewnętrznego wymurowania [9, 10]. Ponadto pomiary takie dostarczają informacji na temat warunków cieplnych na zewnętrznych powierzchniach kadzi, które jako warunki brzegowe są konieczne przy symulacjach numerycznych procesów kadziowych [11, 12].

Mimo, iż powierzchnię kadzi stanowi stalowy płaszcz, dla którego emisyjność można określić na podstawie ogólnie dostępnych danych literaturowych dotyczących emisyjności stali [1, 7, 13, 14], w praktyce występuje problem z prawidłowym doбором wartości tego parametru. Wynika to stąd, iż o emisji i odbijaniu promieniowania z powierzchni tych urządzeń nie decyduje jedynie stan powierzchni samego płaszcza, ale również pokrywająca go warstwa zanieczyszczeń pyłowych. W takiej sytuacji, emisyjność kadzi można określić jedynie szacunkowo, natomiast dokładnych informacji w tym zakresie mogą dostarczyć wyłącznie pomiary wykonane na rzeczywistym obiekcie przemysłowym. W prezentowanym artykule przedstawiono badania poświęcone pomiarom emisyjności kadzi stalowniczych, które zrealizowano z wykorzystaniem kamery termowizyjnej i czujnika termoelektrycznego w postaci termoelementu płaszczowego.

## 2. METODYKA BADAŃ

Na wartość emisyjności wpływa wiele czynników. Emisyjność całkowita zależy od temperatury, emisyjność monochromatyczna zmienia się ponadto wraz z długością fali. Obydwa rodzaje emisyjności zależą od kąta obserwacji emitującej powierzchni. Jednocześnie emisyjność jest nierozłączną cechą samego materiału, zależną od jego budowy wewnętrznej, charakteru powierzchni oraz od warunków pracy emitującego materiału. Ustalenie wpływu poszczególnych parametrów na wartość emisyjności nastęrcza dużych trudności i nie jest możliwe na drodze teoretycznej. Można tego dokonać jedynie empirycznie, badając emisyjność w funkcji poszczególnych parametrów – przy zachowaniu stałości pozostałych. Pomiaru emisyjności, można dokonać w sposób bezpośredni lub pośredni [8, 15]. Metody bezpośrednie polegają na pomiarze wielkości promiennych ciała badanego i wzorcowego, i określaniu – najczęściej na podstawie ich stosunku, wartości  $\varepsilon$ . Są to metody uniwersalne, dzięki czemu można je wykorzystywać dla dowolnego zakresu temperatury pomiaru i do wszystkich rodzajów materiałów. Metodami tymi mierzy się najczęściej emisyjność całkowitą kierunkową lub emisyjność monochromatyczną. Z kolei metody pośrednie pozwalają zazwyczaj na określenie emisyjności półprzestrzennej. Polegają one na pomiarze wielkości optycznych lub cieplnych, związanych z emisyjnością w procesie wymiany ciepła. Na podstawie zmierzonych wielkości, szukaną wartość emisyjności wyznacza się z równań bilansów energii. Do podstawowych metod pośredniego pomiaru emisyjności zalicza się metody:

kalorymetryczną, odbicia zupełnego oraz pomiaru wielkości fizycznych takich jak: rezystywność, stałe optyczne promieniowania spolaryzowanego [8].

Pomiarów emisyjności podczas opisywanych badań dokonano jedną z odmian metody bezpośredniej. Najogólniej metoda ta polega na jednoczesnym pomiarze temperatury badanego ciała za pomocą przyrządu stykowego i bezstykowego [1]. Zatem podczas badań w wybranych punktach na powierzchni kadzi dokonywano pomiaru temperatury dwoma przyrządami. Do pomiaru stykowego wykorzystano układ składający się z cyfrowego miernika temperatury EMT-50 oraz czujnika termoelektrycznego w postaci termoelementu płaszczowego typu *K* [16]. Podczas realizacji tego pomiaru, końcówkę termoelementu dociskano do powierzchni kadzi za pomocą kawałka twardej izolacyjnej włókniny ceramicznej. Z jednej strony zwiększało to kontakt czujnika z badaną powierzchnią, jak też ograniczało oddziaływanie otoczenia na wynik pomiaru. Odczytu temperatury dokonywano po ustabilizowaniu się wskazań przyrządu. Natomiast do pomiaru bezstykowego użyto kamery termowizyjnej ThermaCam P65 [17]. Jest to urządzenie wyposażone w mikrobolometryczny, niechłodzony, matrycowy detektor podczerwieni o rozdzielczości 320×240 pikseli. Kamera ta pracuje w zakresie widmowym 7,5÷13  $\mu\text{m}$ .

W celu wyznaczenia emisyjności badanej powierzchni, dla rozpatrywanego punktu na zarejestrowanym termogramie należało dostroić wartość emisyjności tak, aby wskazywana temperatura  $t_{\text{ter}}$  odpowiadała wartości temperatury pomiaru stykowego  $t_{\text{stk}}$ . W momencie spełnienia tego warunku można przyjąć, że ustawiona emisyjność jest równa emisyjności badanego obiektu.

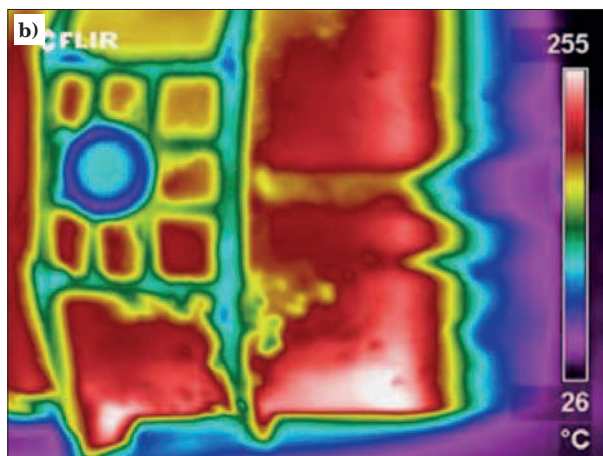
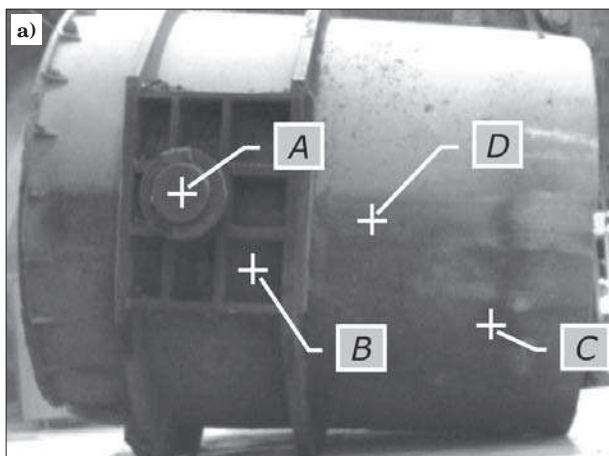
## 3. CHARAKTERYSTYKA BADANYCH OBIEKTÓW

Badanymi obiektami były kadzie główne pracujące na wydziale stalowniczym jednej z krajowych hut. Pomiarom poddano trzy kadzie o pojemności około 135 Mg. W chwili dokonywania pomiarów, badane obiekty były wygrzewane. Dwie kadzie (oznaczone dalej jako I oraz II) ustawione były w pozycji poziomej, jedna (oznaczona jako III) w pozycji pionowej. Zdjęcia oraz przykładowe termogramy tych kadzi przedstawiono na rysunkach 1–3. Dla każdej z nich, pomiary wykonano w kilku punktach, których rozmieszczenie zaznaczono na zamieszczonych zdjęciach. Dla kadzi I były to cztery punkty (A-D), dla kadzi II trzy punkty (A-C), dla kadzi III dwa punkty (A i B).

W chwili dokonywania pomiarów, badane obiekty były wygrzewane, co powodowało, że temperatura na powierzchni płaszcza w zależności od miejsca wynosiła od 180°C do 310°C. Warunki te powodowały, iż podczas wykonywania pomiarów stykowych występowało zagrożenie związane z możliwością poparzenia. Z tego powodu liczbę punktów pomiarowych ograniczono do kilku, wybierając do tego celu charakterystyczne obszary analizowanych urządzeń, bazując na obrazie termowizyjnym.

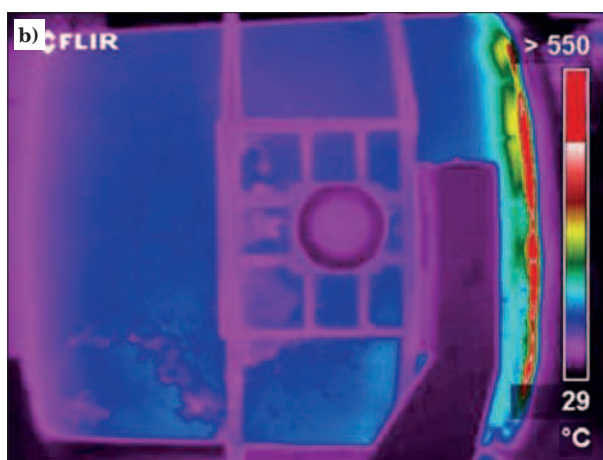
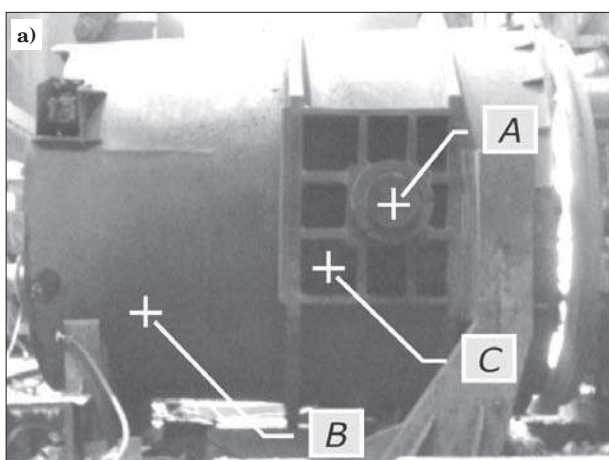
Temperatura średnia  $t_s$  oraz maksymalna  $t_{\text{max}}$  wewnętrznej powierzchni poszczególnych kadzi charakteryzowały się następującymi wartościami:

- kadź I  $t_s = 187^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{max}} = 258^\circ\text{C}$ ;
- kadź II  $t_s = 202^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{max}} = 310^\circ\text{C}$ ;



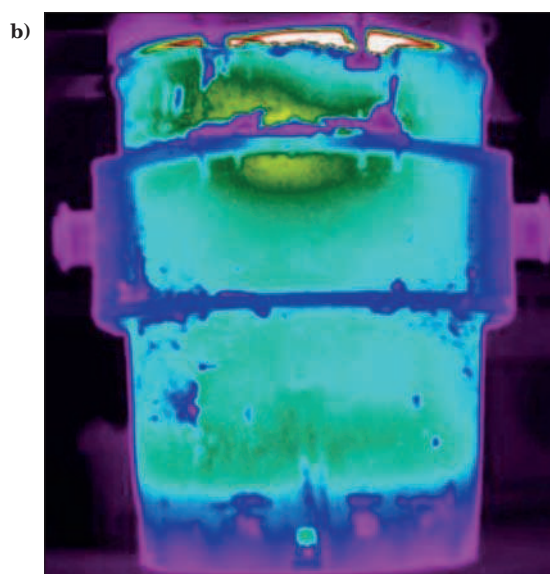
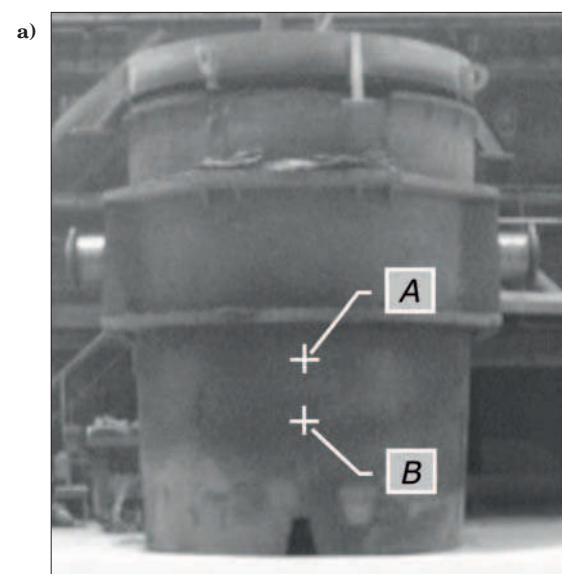
Rys. 1. Kadź I: a) zdjęcie, b) termogram

Fig. 1. Ladle I: a) photo, b) thermogram



Rys. 2. Kadź II: a) zdjęcie, b) termogram

Fig. 2. Ladle II: a) photo, b) thermogram



Rys. 3. Kadź III: a) zdjęcie, b) termogram

Fig. 3. Ladle III: a) photo, b) thermogram

– kadź III  $t_s = 180^\circ\text{C}$ ,  $t_{\max} = 245^\circ\text{C}$ .

Dzięki temu możliwe było określenie emisyjności dla zróżnicowanym temperatur. Jest to istotne, ponieważ temperatura jest jednym z głównych czynników wpływających na wartość emisyjności.

#### 4. WYNIKI BADAŃ

W efekcie badań zrealizowanych na terenie obiektu przemysłowego, uzyskano dane na temat temperatur w wybranych punktach powierzchni płaszcza anali-

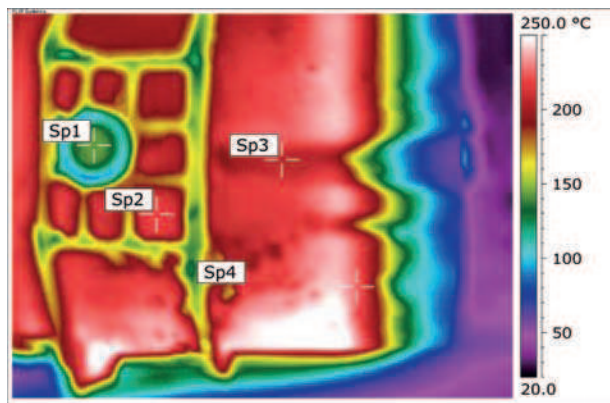
zowanych kadzi, pochodzących z pomiaru stykowego. Ponadto dla każdej kadzi zarejestrowano termogramy. Natomiast procedurę wyznaczania samej emisyjności przeprowadzono na stanowisku komputerowym wyposażonym w specjalistyczne oprogramowanie. Podczas tej procedury, na termogramie każdej kadzi naniesiono punkty odpowiadające swym położeniem punktom stykowego pomiaru temperatury. Następnie korygowano wartości emisyjności, tak aby temperatura wskazywana na termogramie odpowiadała wartości odczytanej podczas pomiaru stykowego.

Przy analizie termogramów należało uwzględnić temperaturę atmosfery, temperaturę otoczenia oraz odległość od badanego obiektu. Parametry te służą do korekty promieniowania docierającego do obiektywu kamery, pochodzącego spoza badanego obiektu. Jest to promieniowanie atmosfery oraz promieniowanie odbite od badanego obiektu, które dociera do jego powierzchni od innych obiektów znajdujących się w jego otoczeniu. Wartości temperatury otoczenia i temperatury atmosfery (powietrza) ustalono na podstawie pomiaru. Do tego celu wykorzystano ten sam układ pomiarowy, którym mierzono stykowo temperatury kadzi. Ponieważ w otoczeniu badanych kadzi nie znajdowały się żadne obiekty o wysokiej temperaturze przyjęto, że temperatura otoczenia jest równa temperaturze atmosfery. Wartości tych temperatur w momencie wykonywania badań wynosiły 17°C.

Na rysunku 4 przedstawiono termogram wykorzystany do wyznaczania emisyjności kadzi I. Na termogramie tym naniesiono cztery punkty Sp1–Sp4, których położenie odpowiada lokalizacji miejsc stykowego pomiaru temperatury (punkty A-B na rys. 1a). Punkt Sp1 dotyczy powierzchni czopa kadzi, punkt Sp2 obszaru między elementami usztywniającymi, natomiast punkty Sp3 i Sp4 dotyczą różnych miejsc na powierzchni samego płaszczka. Wyniki pomiarów uzyskane dla tej kadzi zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki pomiarów dla kadzi I  
Table 1. Measurement results for ladle I

Punkt pomiaru	$t_{\text{stk}}$ °C	$t_{\text{ter}}$ °C	$\varepsilon$
Sp1 (A)	148	149,0	0,92
Sp2 (B)	220	219,6	0,97
Sp3 (C)	180	179,5	0,92
Sp4 (D)	245	244,7	0,74



Rys. 4. Termogram na podstawie którego wyznaczano emisyjność kadzi I

Fig. 4. Thermal image used to the determine emissivity of the ladle I

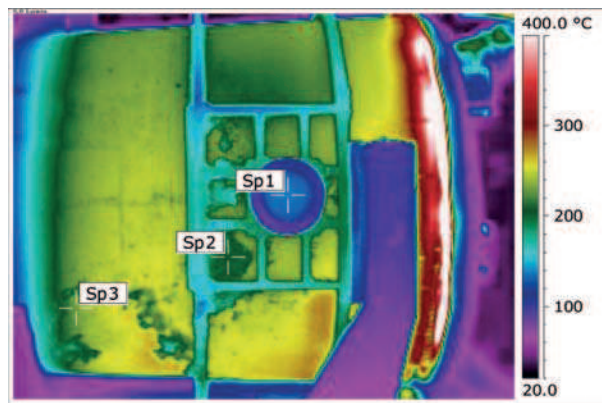
W drugiej kolumnie jako wartości parametru  $t_{\text{stk}}$  przedstawiono temperatury uzyskane na podstawie pomiaru stykowego. Kolejna kolumna tej tabeli zawiera dopasowane temperatury odczytane z termogramu ( $t_{\text{ter}}$ ). Natomiast w ostatniej kolumnie zestawiono emisyjności, dla których uzyskano dopasowanie parametrów  $t_{\text{stk}}$  i  $t_{\text{ter}}$ . Jak widać nie uzyskano idealnego dopasowania, co związane jest z tym, że przy analizie termogramów emisyjność można zmieniać jedynie z dokładnością do drugiego miejsca po przecinku.

Uzyskane wartości parametru  $\varepsilon$  są zróżnicowane. Największą wartość, równą 0,97, uzyskano dla punktu Sp2. Punkt ten znajduje się we wnęce utworzonej przez elementy usztywniające kadź w okolicy czopa, co sprawia, że zachowuje się ona jak model techniczny ciała doskonale czarnego. Powoduje to, że wartości emisyjności dla tego punktu nie można traktować jako odpowiadającej własnościom samej powierzchni. W punktach Sp1 i Sp3 zmierzona emisyjność wynosi 0,92. Tak duża wartość parametru  $\varepsilon$  w tych miejscach spowodowana była silnym zabrudzeniem tych powierzchni przez warstwę zanieczyszczeń pyłowych. Natomiast fragment powierzchni kadzi gdzie umieszczono punkt Sp4 był pozbawiony tych zanieczyszczeń. Spowodowało to, że emisyjność w tym miejscu była automatycznie znacznie niższa. Uzyskana wartość  $\varepsilon$  wyniosła 0,74. Na tej podstawie można stwierdzić, że obecność zanieczyszczeń na powierzchni kadzi istotnie przyczynia się do zwiększenia emisyjności.

Rysunek 5 przedstawia termogram, na podstawie którego wyznaczono emisyjność kadzi II. W tym przypadku pomiarów dokonano w trzech punktach: na czopie (punkt Sp1), we wnęce podobnie jak dla kadzi I (punkt Sp2) oraz w dolnej części płaszczka (punkt Sp3). Wyniki uzyskane dla tej kadzi zestawiono w tabeli 2. Na powierzchni czopa oraz we wnęce uzyskano praktycznie te same wartości  $\varepsilon$  jak dla kadzi I. Inną wartość odnotowano na powierzchni samego płaszczka. W tym

Tabela 2. Wyniki pomiarów dla kadzi II  
Table 2. Measurement results for ladle II

Punkt pomiaru	$t_{\text{stk}}$ °C	$t_{\text{ter}}$ °C	$\varepsilon$
Sp1 (A)	142	142,2	0,91
Sp2 (C)	202	202,9	0,97
Sp3 (B)	228	228,4	0,86



Rys. 5. Termogram na podstawie którego wyznaczano emisyjność kadzi II

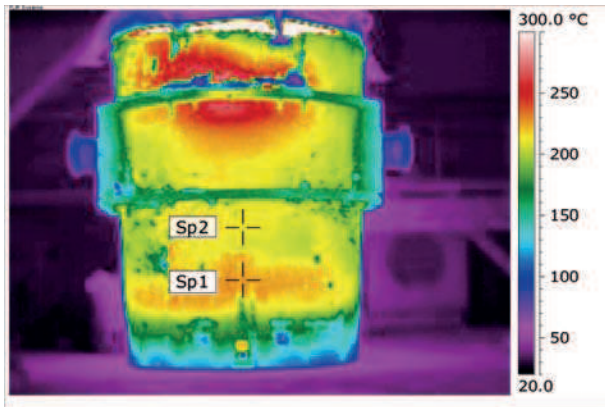
Fig. 5. Thermal image used to the determine emissivity of the ladle II

przypadku było to 0,86, gdy dla kadzi I, w zależności od miejsca było to 0,92 lub 0,74. Powierzchnia kadzi II również była pokryta zanieczyszczeniami, jednak warstwa tych zanieczyszczeń jest tu nieco mniejsza niż w przypadku obszaru punktu Sp3 na kadzi I. Potwierdza to wcześniejsze stwierdzenie, że emisyjność badanych obiektów zależy od pokrywających je zanieczyszczeń.

Emisyjność kadzi III określono na podstawie analizy termogramu przedstawionego na rysunku 6. W przeciwieństwie do poprzednich przypadków, to urządzenie ustawione było w pozycji pionowej. Emisyjność wyznaczono tu jedynie w dwóch punktach na powierzchni płaszcza. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 3. W tej sytuacji emisyjność wyniosła 0,85 oraz 0,89. Jest to wynik zbliżony do wartości uzyskanych dla kadzi II.

Tabela 3. Wyniki pomiarów dla kadzi III  
Table 3. Measurement results for ladle III

Punkt pomiaru	$t_{stk}$ °C	$t_{ter}$ °C	$\varepsilon$
Sp1 (B)	216	216,7	0,85
Sp2 (A)	196	196,4	0,89



Rys. 6. Termogram na podstawie którego wyznaczano emisyjność kadzi III

Fig. 6. Thermal image used to the determine emissivity of the ladle III

Dokonując podsumowania uzyskanych wyników należy stwierdzić, iż emisyjność badanych urządzeń w głównej mierze zależy od pokrywających je zanieczyszczeń. Ponieważ na wydziale stalowni panuje silne zapylenie, kadzie w większości pokryte są warstwą osiadającego na nich pyłu. To sprawia, że emisyjność w takim przypadku wynosi od 0,85 do 0,89. Natomiast obszary płaszcza kadzi które są pozbawione tych zanieczyszczeń oznaczają się emisyjnością na poziomie 0,74.

## 5. ANALIZA NIEPEWNOŚCI POMIARU

Wyniki pomiarów przedstawione w tabelach 1-3 uzyskano bez uwzględnienia niepewności pomiaru temperatur  $t_{stk}$  oraz  $t_{ter}$ . Jednak pomiary obu tych temperatur, jak każdy pomiar, obarczone były pewną niepewnością. Pomiar temperatury przyrządem stykowym, jak wynika z informacji podawanych przez producenta tego miernika [16], obarczony jest niepewnością  $u(t_{stk})$ , która wynosi:

$$u(t_{stk}) = \pm 0,15\% \text{ zakresu pomiarowego} \pm 1 \quad (1)$$

Ponieważ maksymalna wartość temperatury zmierzonej za pomocą układu stykowego wynosiła 245°C, zatem zgodnie z równaniem (1) maksymalna niepewność pomiaru tą metodą podczas wykonanych badań wyniosła  $\pm 1,4^\circ\text{C}$ .

Natomiast niepewność bezstykowego pomiaru temperatury  $u(t_{ter})$ , który realizowano za pomocą kamery termowizyjnej, według tego co podaje producent urządzenia, wynosi  $\pm 2^\circ\text{C}$  [17]. Obie wymienione niepewności wpływają niezależnie na niepewność wyznaczania emisyjności  $u(\varepsilon)$ . W analizie tego zagadnienia, z uwagi na wykorzystanie przy dopasowywaniu emisyjności złożonego modelu matematycznego pomiaru temperatury jako zaimplementowany jest w oprogramowaniu służącym do obróbki termogramów przyjęto, że wartość  $u(\varepsilon)$  determinowana jest niepewnością  $u(t_{od})$ . W przyjętym zapisie  $t_{od}$  oznacza pewną temperaturę nazwaną temperaturą odniesienia. Wartość niepewności  $u(t_{od})$  obliczano przy wykorzystaniu reguły propagacji niepewności [18, 19]. Na tej podstawie otrzymano wzór do obliczania wartości niepewności kwadratowej względnej temperatury odniesienia w postaci:

$$\frac{u_c(t_{od})}{t_{sr}} = \delta(t_{od}) = \sqrt{\left(\frac{u(t_{stk})}{t_{stk}}\right)^2 + \left(\frac{u(t_{ter})}{t_{ter}}\right)^2} \quad (2)$$

gdzie

$$t_{sr} = \frac{t_{stk} + t_{ter}}{2} \quad (3)$$

Na podstawie równań (1) – (3) dla każdej realizacji pomiaru obliczono wartości parametrów  $u(t_{od})$  oraz  $\delta(t_{od})$ . Przykładowe wyniki obliczeń tych parametrów uzyskane dla pomiarów temperatury kadzi I zestawiono w tabeli 4. Niepewność pomiaru temperatury odniesienia w każdym przypadku wynosi 2,4°C.

Tabela 4. Wyniki obliczeń niepewności pomiaru temperatury odniesienia

Table 4. Results of measurement uncertainty calculations reference temperature

Punkt pomiaru	$\delta(t_{od})$ %	$u(t_{od})$ °C	$t_{od}$ °C
Sp1 (A)	1,62	$\pm 2,4$	148 $\pm 2,4$
Sp2 (B)	1,01	$\pm 2,4$	220 $\pm 2,4$
Sp3 (C)	1,35	$\pm 2,4$	180 $\pm 2,4$
Sp4 (D)	0,98	$\pm 2,4$	245 $\pm 2,4$

W dalszej kolejności, wyznaczano emisyjność przy dopasowaniu dla danego punktu skrajnych wartości temperatury odniesienia wynikających z ostatniej kolumny tabeli 4. Przykładowo dla punktu Sp4 kadzi I były to temperatury 242,6°C oraz 247,4°C. Uzyskane dla tych temperatur z analizy termogramu wartości emisyjności wyniosły odpowiednio 0,73 i 0,75. W tej sytuacji można stwierdzić, że  $u(\varepsilon)$  wynosi 0,02. Przy uwzględnieniu emisyjności dla tego punktu wynoszącej 0,74 otrzymujemy, że względna niepewność pomiaru emisyjności dla zastosowanych przyrządów pomiarowych wynosi 2,7%. Podobne wartości względnej niepewności pomiaru emisyjności uzyskano dla pozostałych przypadków. Zatem można uznać, że niepewność względna pomiaru emisyjności dla przedstawionych badań nie przekracza wartości 3%.

## 6. PODSUMOWANIE

W wyniku wykonanych pomiarów ustalono, że emisyjność powierzchni zewnętrznych badanych kadzi stalowniczych mieści się w zakresie od 0,75 do 0,92. Podczas badań uzyskano również wartości 0,97, jednak dotyczą one powierzchni kadzi we wnękach, które zachowują się jak modele techniczne ciała doskonale czarnego przez co zawyżają wartość tego parametru, jednak ich udział powierzchniowy jest znikomy. Jak wykazano, wartość badanego parametru zależy istotnie od stopnia pokrycia kadzi zanieczyszczeniami. Obiekty znajdujące się na wydziale stalowniczym z uwagi na charakter prowadzonych tam procesów pokryte są warstwą zanieczyszczeń pyłowych. Im grubsza jest warstwa tych

zanieczyszczeń na powierzchni kadzi, tym wyższa jest jej emisyjność. Natomiast dla kadzi których płaszcz pozbawiony jest zanieczyszczeń, można przyjąć emisyjność 0,75. W porównaniu z danymi literaturowymi wartość ta odpowiada emisyjności stali silnie utlenionych, dla których parametr  $\varepsilon$  wynosi od 0,7 do 0,8 [14]. Natomiast emisyjność uzyskana dla powierzchni kadzi pokrytych zanieczyszczeniami, która wynosi około 0,9, własnościami radiacyjnymi jest zbliżona do materiałów budowlanych oraz skalnych.

***Niniejsza praca naukowa finansowana jest z funduszy Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, w ramach Programu Badań Stosowanych, o numerze PBS2/A5/32/2013.***

## LITERATURA

1. Minkina W.: Pomiary termowizyjne – przyrządy i metody, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2004
2. Więcek B., De Mey G.: Termowizja w podcierwieniu, podstawy i zastosowania, Wydawnictwo PAK, Warszawa 2011
3. Biomedyczne zastosowania termowizji, pod redakcją H. Podbielskiej, A. Skrzypek, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2014
4. Urbaniak D., Wyczółkowski R., Wyleciał T.: Diagnostyka i ocena efektów modernizacji ciepłowni miejskiej jako optymalizacji pracy kotłów wodnych. Rynek Energii nr 5 (102), 2012, s. 53-58
5. Wyczółkowski R., Wyleciał T.: Diagnostyka urządzeń cieplnych z wykorzystaniem kamery termowizyjnej. Hutnik-Wiadomości Hutnicze. R. 81 nr 10 2014, s. 696-701
6. Wyleciał T., Wyczółkowski R., Urbaniak D.: Eksperymentalna weryfikacja wykorzystania termowizji do wyznaczania mocy cieplnej urządzeń grzewczych. Rynek ciepła 2012. Materiały i studia. Wydawnictwo KAPRINT 2012, s. 291-300
7. Kostowski E.: Promieniowanie cieplne, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009
8. Burakowski T.: Emisyjność ciał stałych nieprzezroczystych. V Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna: Gospodarka Ciepła i eksploatacja Pieców Przemysłowych., Poraj 1997, s. 17-47
9. Wyczółkowski R., Jowśa J.: Wykorzystanie pomiarów termowizyjnych do diagnostyki kadzi stalowniczych, Prace Instytutu Metalurgii Żelaza, tom 58 (4/2006), s. 20-21
10. Wyczółkowski R., Jowśa J.: Możliwości wykorzystania pomiarów termowizyjnych do diagnostyki wybranych urządzeń stalowniczych. Hutnik-Wiadomości Hutnicze. R. 64 nr 8 2007, s. 423-428
11. Takahashi Koichi, Ando Makoto, Ishii Toshio: Numerical Investigation of Unsteady Molten Steel Flow and Inclusion Behavior in the Tundish in the Ladle Change Period, ISIJ International, Vol. 54 (2014), No. 2, pp. 304-310
12. Anurag Tripathi, Jayanta Kumar Saha, Jitendra Bhadur Singh, Satish Kumar Ajmani: Numerical Simulation of Heat Transfer Phenomenon in Steel Making Ladle, ISIJ International, Vol. 52 (2012) No. 9 p. 1591-1600
13. Modest M. F.: Radiative heat transfer, third edition, Academic Press, New York, San Francisco, London 2013
14. Cengel Y. A.: Heat transfer – a practical approach. Second Edition, Mc Graw Hill, 2002
15. Burakowski T.: Emisyjność oporowych stopów grzejnych, BOINTE IMP, Warszawa 1976
16. www.czaki.pl
17. <http://www.swaindigital.com/ebay/P65%20EN> – Flir Systems ThermoCAM P6
18. Taylor J.R.: Wstęp do analizy błędów pomiarowych, PWN Warszawa 1995
19. Arendarski J.: Niepewność pomiarów, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006