

## Sposób wykonania opracowań termograficznych obiektów walcowych i stożkowych

*Alina Wróbel, Andrzej Wróbel*

Akademia Górniczo-Hutnicza  
im. Stanisława Staszica w Krakowie  
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska  
30-059 Kraków al. Mickiewicza 30

### **Abstrakt**

*Termogramy obiektów walcowych obarczone są zniekształceniami geometrycznymi i radiometrycznymi. Opracowanie termograficzne powinno przedstawiać rozkład temperatury na powierzchni obserwowanego obiektu wolny od błędów systematycznych. Niniejsza praca przedstawia sposób wykonania termogramów i ich późniejsze przetworzenie.*

### **Abstract**

*Thermographic images of the cylindrical objects are distorted by the geometrical and radiometrical errors. Distribution of the temperature on the surface of the object should be presented without the systematic errors. The way of the making the thermographic images of the cylindrical objects and their processing is describes in this paper.*

### **1. Wstęp**

Każdy obiekt inżynierski związany z procesem cieplnym, posiada charakterystyczny dla tego procesu rozkład temperatury. Rozkład temperatury zależy od parametrów procesu technologicznego oraz własności izolacyjnych obiektu, w którym dany proces się odbywa. Obserwując rozkład temperatury na charakterystycznych powierzchniach obiektów i urządzeń można otrzymać cenne informacje o prawidłowości zachodzącego procesu cieplnego i stanie technicznym urządzenia.

Techniką umożliwiającą otrzymanie wizualnego obrazu rozkładu temperatury na powierzchni obiektu jest termografia. Technika ta polega na rejestracji natężenia promieniowania podczerwonego wysyłanego przez każde ciało o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego. Temperatura obserwowanej powierzchni obliczana jest na podstawie zależności funkcyjnej natężenia promieniowania podczerwonego od temperatury i emisyjności powierzchni, współczynnika tłumienia atmosfery i parametrów kalibracji urządzenia termograficznego.

Widzialny obraz rozkładu temperatury na obserwowanej powierzchni - **termogram** - powstaje na drodze optoelektronicznej, odpowiada on obrazowi w rzucie środkowym zwizualizowanym w barwach umownych. Zawiera on informacje o temperaturze

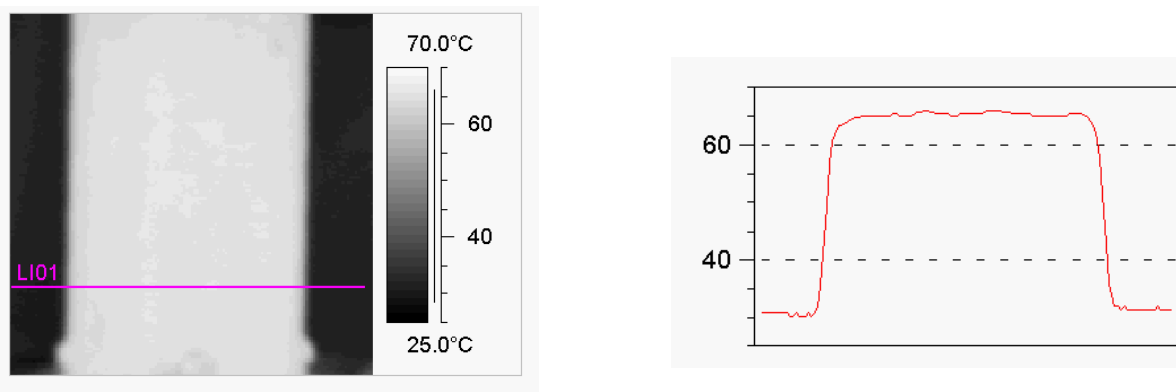
powierzchni obiektu jak też geometrii jej rozkładu.

Ponieważ termogram tworzony jest jako rzut środkowy, obrazy obiektów są zniekształcone w stosunku do rzutu ortogonalnego lub rozwinięcia powierzchni tych obiektów. Jeżeli termogram wykonany jest w taki sposób, że kierunek obserwacji jest w przybliżeniu prostopadły do badanej powierzchni to nie występują zniekształcenia temperatury wywołane kątem obserwacji zawartym pomiędzy normalną do powierzchni a kierunkiem obserwacji.

## 2. Zniekształcenia termogramu obiektu walcowego i stożkowego

Każda tworząca obiektu walcowego i stożkowego obserwowana jest pod innym kątem, zawartym w przedziale  $(0, 90^\circ)$ . Natężenie promieniowania określone prawem Lamberta zmienia się tak jak cosinus kąta między kierunkiem obserwacji i normalną do powierzchni promieniującej [Hackforth 1963]. Z tego powodu termogramy obiektów walcowych i stożkowych zawierają zniekształcenia temperatury dla tworzących obserwowanych pod kierunkiem różniącym się znacznie od normalnego.

Prace doświadczalne [Szwajca 2001] pokazują, że dla obiektów o dużej wartości współczynnika emisyjności (beton, farba) temperatura jest określona prawidłowo dla kątów obserwacji nie przekraczających  $50^\circ$ . Zależność temperatury od kąta obserwacji wyznaczono doświadczalnie wykonując termogramy zewnętrznej powierzchni walca o temperaturze równomiernej i wyższej znacznie od temperatury otoczenia. Na rys.1 pokazany jest jeden z termogramów zewnętrznej powierzchni walca o temperaturze  $65^\circ\text{C}$ , wraz z profilem temperatury wykonanym wzdłuż linii poziomej. Profil ten ilustruje zależność temperatury otrzymanej z termogramu od położenia tworzącej walca, a więc i kąta obserwacji. Temperatura jest odwzorowana wiernie dla około 80% centralnej części obrazu obiektu, natomiast po ok. 10% skrajnych tworzących obiektu posiada temperaturę zniekształconą.

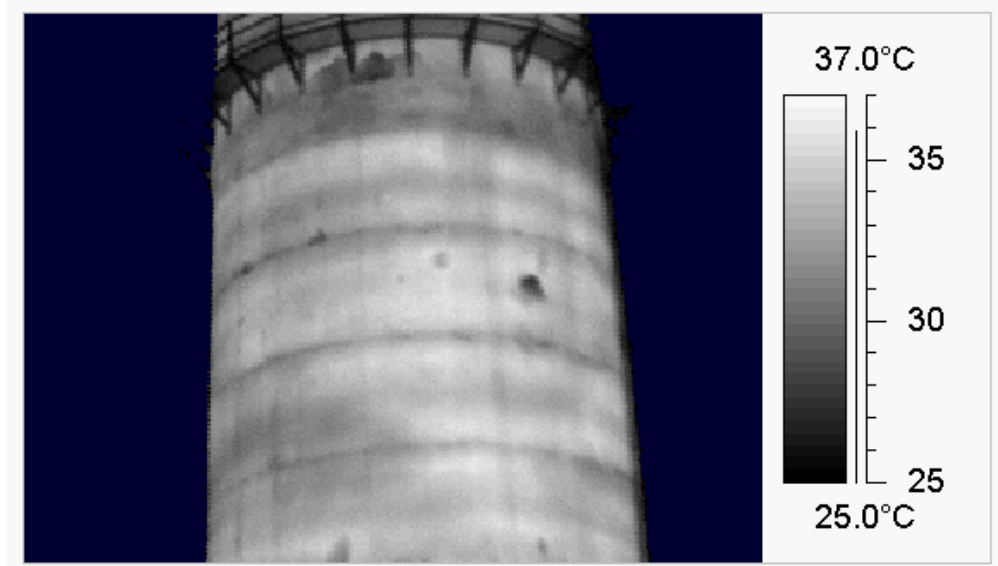


Rys 1. Zniekształcenie obrazu temperatury na termogramie powierzchni walcowej

Obraz powierzchni walcowej i stożkowej przedstawiony w rzucie środkowym posiada zawsze zniekształcenia geometryczne w stosunku do rozwinięcia ich powierzchni..

Pierwszym z nich jest niejednorodna skala obrazu wzdłuż obwodu walca lub stożka. Skala obrazu zależy od odległości obiektu od kamery, a dla walca jedne tworzące będą bliżej kamery (centralna część obrazu) inne zaś dalej (skrajne części obrazu). Ponadto linie równoległe na obiekcie przedstawione mogą być na termogramie jako linie zbieżne, a

linie przekrojów płaszczyzną prostopadłą do osi obiektu będą liniami prostymi lub łukami o różnej krzywiznie, w zależności od ich położenia w stosunku do środka rzutów i osi kamery (rys.2).



Rys 2. Geometryczne zniekształcenia termograficznego obrazu komina.

### 3. Wykonanie obserwacji termograficznych

Obserwacje termograficzne należy tak zaplanować aby zminimalizować wpływ omówionych wyżej zniekształceń na uzyskany obraz.

Na termogramie skrajne tworzące walca przedstawione są w bardzo dużym skrócie, a obraz temperatury skrajnych części pobocznic walca jest zniekształcony. Dlatego obserwacje należy wykonywać z co najmniej czterech stanowisk, rozmieszczonych w miarę regularnie wokół obiektu, aby później można było do opracowania wykorzystać jedynie centralne części termogramów.

Skala obrazu powinna być jak największa, aby uzyskać odpowiednią rozdzielczość geometryczną opracowania. Dlatego przy dużych (wysokich) obiektach należy z jednego stanowiska rejestrować obiekt częściami, aby na jednym termogramie zajmował co najmniej pół szerokości obrazu (rys.2).

Dużą skalę obrazu należy osiągać nie przez zmniejszanie odległości od stanowiska kamery do obiektu, ale przez stosowanie obiektywów o wąskim kącie widzenia. Zmniejszanie odległości kamery od obiektu powoduje bowiem zwiększanie wpływu zniekształceń geometrycznych i radiometrycznych obrazu omówionych w rozdz. 2.

Rejestracja termogramów ze stanowisk zlokalizowanych wyżej niż powierzchnia terenu (dachy budynków, itp.) powoduje zmniejszenie zniekształcenia perspektywicznego obrazu.

Wskazane jest uzupełnienie obserwacji termograficznych zdjęciami

fotograficznymi wykonanymi z tych samych co termogramy stanowisk, co pomocne jest przy interpretacji wyników.

#### 4. Sposób przedstawienia wyników opracowań termograficznych

Najprostszym rozwiązaniem jest zaprezentowanie zbioru termogramów uzupełnionych o skalę barwną przedstawiającą przyporządkowanie wartości temperatury poszczególnym kolorom. Może to być praktykowane jedynie w takim przypadku, gdy opracowanie termograficzne obejmuje mały fragment obiektu, który został zobrazowany na jednym lub tylko kilku termogramach. W sytuacji gdy opracowanie ma dotyczyć całości obiektu, korzystanie z takiego zbioru termogramów będzie niewygodne.

Często wykonuje się montaż termogramów wykonanych z jednego stanowiska, tak aby uzyskać jeden obraz termalny obiektu obserwowanego z danego stanowiska. Warunkiem podstawowym jest oczywiście wykorzystanie do montażu termogramów w jednolitej barwnej skali temperatur. Montowane termogramy muszą być poddane przekształceniom geometrycznym obrazu (kadrowanie, zmiana skali, obrót, zmiana zniekształcenia perspektywicznego) tak, aby utworzyć jednolity obraz. Należy pamiętać, że tak uzyskany fotoszkieł będzie w przybliżeniu obrazem perspektywicznym, a nie rzutem ortogonalnym lub rozwinięciem powierzchni obiektu. Interpretacja obrazu termograficznego będzie łatwiejsza, gdy tak zmontowane termogramy uzupełnimy zdjęciami fotograficznymi wykonanymi z tego samego stanowiska.

Najkorzystniej jest, jeżeli opracowanie termograficzne przedstawia rozkład temperatury na obserwowanej powierzchni bez widocznych zniekształceń zarówno wartości temperatury, jak też geometrii jej rozkładu.

Obraz rozkładu temperatury powierzchni walcowej lub stożkowej można przedstawić bez zniekształceń geometrycznych, jedynie na rozwinięciu tych powierzchni. Ponieważ termogram jest rzutem środkowym uzyskanie rozwinięcia wymaga przetworzenia obrazu.

Obraz termalny wolny od zniekształceń temperatury można otrzymać przez korektę radiometryczną termogramu [Stein i inni 1998]. W przypadku obiektów walcowych istotne zniekształcenie temperatury dotyczy tylko brzegowej części obrazu walca (ok. 10%). Równocześnie należy zwrócić uwagę, iż ten fragment obrazu w rzucie środkowym widoczny jest w bardzo dużym skrócie perspektywicznym. W związku z tym do opracowania wykorzystuje się jedynie centralną część obrazu (pozbawioną błędów odwzorowania temperatury), a zatem korekcja radiometryczna jest praktycznie niepotrzebna.

##### 4.1. Wykonanie rozwinięcia obrazu

Rozwinięcie polega na przekształceniu obrazu w rzucie środkowym na obraz w rzucie normalnym do powierzchni obiektu. Dla obiektów walcowych nie jest to zagadnienie skomplikowane wymaga jednak pewnego nakładu pracy. Opracowanie takie można wykonać w sposób uproszczony lub też ścisły [Prochalska 2001].

Do wykonania opracowania w sposób uproszczony wystarczy dobry program

graficzny. Polega ono na podzieleniu obrazu powierzchni walcowej na paski równoległe do tworzącej i odpowiednią zmianę skali każdego z nich w kierunku prostopadłym do tworzącej. Wielkość korekcji skali możemy wyznaczyć na podstawie znajomości odległości od stanowiska kamery do powierzchni obiektu walcowego, średnicy walca oraz wysokości przetwarzanego fragmentu w stosunku do podstawy obiektu. Przed zmontowaniem przeskalowanych pasków należy jeszcze usunąć na nich zniekształcenie wynikające z rzutu środkowego powodujące zakrzywienie linii przebiegających po obwodzie walca i zbieżność linii równoległych do siebie na obiekcie. Przybliżona korekcja błędów geometrycznych jest działaniem pracochłonnym, a uzyskany efekt tylko w przybliżeniu odpowiada opracowaniu ścisłemu.

Do wykonania rozwinięcia w sposób ścisły potrzebne jest specjalistyczne oprogramowanie (np. Iras C Firmy Intergraph). Umożliwia ono przekształcenie obrazu cyfrowego m.in. w ten sposób, iż położeniu piksela obrazu wejściowego odpowiada położenie piksela obrazu wynikowego wyznaczone wg wybranych funkcji. Wykorzystując wielomiany wyższego stopnia można uzyskać przekształcenie obrazu powierzchni walcowej lub stożkowej w rzucie środkowym na jej rozwinięcie.

Do wyznaczenia parametrów funkcji używa się punktów kontrolnych. Potrzebna jest znajomość ich położenia na termogramie oraz na powierzchni rozwinięcia. Dla wielomianu trzeciego stopnia potrzeba minimum dziewięciu punktów. Problem polega na tym, iż z reguły termogram nie posiada zbyt wielu wyraźnych szczegółów, które można wykorzystać jako punkty kontrolne. Rozkład temperatury na powierzchni obiektu charakteryzuje się bowiem tym, że nie ma ostrych granic zmiany temperatury, a obiekty walcowe typu komin lub zbiornik najczęściej mają w miarę jednorodną powierzchnię o nie zmieniającej się nagle temperaturze.

W celu zminimalizowania ilości koniecznych do identyfikacji na termogramie fotopunktów, można zastosować rozwiązanie etapowe. Etap pierwszy polega na znalezieniu na termogramie kilku punktów umożliwiających powiązanie ze sobą termogramu jako obrazu w rzucie środkowym i obiektu. Wykonanie tego z wykorzystaniem funkcji DLT wymaga znajomości co najmniej sześciu punktów kontrolnych. Do wyznaczenia elementów orientacji wewnętrznej (dla termogramu są one nieznane) i kątowych elementów orientacji zewnętrznej zdjęcia wystarczy mniej punktów, ale należy wówczas wyznaczać współrzędne środka rzutów kamery w czasie prac terenowych. Etap drugi to wyliczenie współrzędnych tłowych dodatkowych punktów o przyjętym na rozwinięciu położeniu. Umożliwi to uzyskanie odpowiedniej ilości punktów dla wyznaczenia parametrów funkcji wielomianowej bez konieczności zidentyfikowania ich wszystkich jako szczegóły na termogramie.

Do przetworzenia wykorzystujemy środkową część termogramu, wolną od zniekształcenia temperatury.

Jeśli współrzędne punktów kontrolnych na rozwinięciu wyrazimy w jednolitym dla wszystkich termogramów układzie to przetworzone termogramy „ulożą” się w prawidłowych dla nich miejscach i pozostanie jedynie odpowiednie docięcie ich w miejscach połączeń (usunięcie nakładających się na siebie fragmentów sąsiednich obrazów).

## 5. Podsumowanie

Zewnętrzne tworzące obiektów walcowych na termogramie posiadają zniekształcenia radiometryczne i geometryczne. Usunięcie tych zniekształceń nie daje dobrych efektów, więc należy wykonać termogramy z co najmniej czterech stanowisk rozmieszczonych wokół obiektu, a do opracowania wykorzystać środkowe fragmenty obrazu obiektu. Te fragmenty są wolne od zniekształceń temperatury. Zniekształcenia geometryczne występują na całej powierzchni i można je w pełni usunąć jedynie przez wykonanie rozwinięcia obrazu za pomocą specjalistycznego oprogramowania.

Recenzował: dr hab. inż. Jerzy Bernasik – prof. AGH

## 6. Literatura

1. H.L. Hackforth, Promieniowanie podczerwone, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1963
2. J. Sz wajca, Opracowanie termogramów obiektów walcowych, Praca dyplomowa, AGH, Kraków 2001
3. R. Stein, B. Więcek, P. Sawicki, Rekonstrukcja sceny trójwymiarowej do korekcji emisyjności kierunkowej, Elektronika -Prace Naukowe, Zeszyt 3, Politechnika Łódzka, 1998
4. M. Prochalska, Opracowanie rozwinięcia termogramów powierzchni walcowych. Praca dyplomowa, AGH, Kraków 2001