

**Jolanta Grońska, Iwona Grzesik, Alina Wróbel, Andrzej Wróbel**

## **STEREOSKOPIA W INTERPRETACJI TERMOGRAMÓW OBIEKTÓW INŻYNIERSKICH<sup>1</sup>**

### **INTERPRETATION OF THERMOGRAMS OF CONSTRUCTIONS WITH USE OF STEREOSCOPY**

*Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie  
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska  
AGH University of Science and Technology  
Faculty of Mining Surveying and Environmental Engineering*

#### Streszczenie

Termogram przedstawia rozkład temperatury na obserwowanej powierzchni, przez co znacznie się różni od obrazu w świetle widzialnym. Inną cechą szczególną termogramu są rozmoczenia konturów, spowodowane płynnością rozkładu temperatury na powierzchni obiektu. Utrudnia to identyfikację szczegółów na termogramie, a zatem umiejscowienie na powierzchni obiektu (zwłaszcza obiektów wielopowierzchniowych) odczytanej wartości temperatury. Dla ułatwienia interpretacji autorzy próbują zastosować wykonywanie i stereoskopową obserwację stereotermogramów.

Analizę jakości modelu stereoskopowego przeprowadzono na termogramach budynków przemysłowych i mieszkalnych. Dokładność pomiaru na stereotermogramach oceniano przez porównanie go z wynikami pomiaru geodezyjnego i fotogrametrycznego. Stwierdzono, że model przestrzenny jest wyraźnie widoczny wtedy, kiedy oglądamy obrazy w małej skali. Powiększanie obrazu powodowało pogorszenie jakości obserwacji, czasami do tego stopnia, że nie można było osadzić znaczka pomiarowego na powierzchni modelu. Dokładność odtworzenia przestrzennego położenia elementów obiektu zarejestrowanego na stereotermogramie nie jest wysoka. Dla uzyskania dokładnych informacji geometrycznych o obiekcie stereotermogramy nie zastąpią steropary zdjęć fotograficznych (nawet tych wykonanych niewysokiej jakości kamerami cyfrowymi), mogą być natomiast bardzo pomocne przy interpretacji rozkładu temperatury.

SŁOWA KLUCZOWE: termografia, stereoskopia

---

<sup>1</sup> praca wykonana w ramach badań statutowych AGH

## 1. WSTĘP

Termogram to obraz rozkładu temperatury na powierzchni badanego obiektu przedstawiony w barwach umownych. Często jest on zasadniczo różny od obrazu obiektu w paśmie widzialnym (czarnobiałego, a tym bardziej kolorowego) bowiem rozkład temperatury nie zawsze ma ścisły związek z kształtem obiektu. Cechą szczególną termogramu są rozmycia konturów, spowodowane płynnością rozkładu temperatury na powierzchni obiektu. Sprawiają one, że obraz termalny nie jest tak ostry jak zwykła fotografia. Oba wyżej wymienione czynniki utrudniają identyfikację szczegółów na termogramie, a zatem także umiejscowienie na powierzchni obiektu odczytanej wartości temperatury.

Pomocą w interpretacji może być wykorzystanie równoległe wykonywanych obrazów w paśmie widzialnym (np. kamerą wideo lub aparatem cyfrowym) [1]. Niektóre nowe kamery termograficzne mają fabrycznie wbudowane proste aparaty cyfrowe. Proponowana przez autorów metoda polega na zastosowaniu do interpretacji termogramów obserwacji stereoskopowej. Stereoskopowa obserwacja termogramów pozwoli obserwować rozkład temperatury „w przestrzeni”, a zatem ułatwi przyporządkowanie temperatury elementom obiektu.

Kamery termograficzne posiadają znacznie mniejszą rozdzielczość od fotograficznych aparatów cyfrowych, dają więc znacznie gorszy obraz. Powstało pytanie, czy odpowiednio wykonana para obrazów termograficznych da się obserwować stereoskopowo i jaka jest dokładność takiej obserwacji. Analizę taką przeprowadzono na termogramach wykonywanych w różnych warunkach i różnymi kamerami.

## 2. OPIS PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

Do badań wybrano dwa budynki; pierwszy posiadał dużo szczegółów, była to hala przemysłowa, natomiast drugi miał rozbudowaną geometrię, to był dom mieszkalny. Wykonano dla nich zdjęcia lekko zbieżne, kamerami termowizyjnymi Agema 780 (o rozdzielczości 140x140) i ThermaCam 590 (o rozdzielczości 240x320 pikseli). Dla uwzględnienia wpływu warunków zewnętrznych zarejestrowano kamerą Agema 780 obrazy w zimie i w lecie. W okresie zimowym budynki charakteryzowały się małą zmiennością temperatury na zewnętrznej powierzchni ścian. W lecie ściany budynku miały znacznie większe zróżnicowanie temperatury z powodu nasłonecznienia.

Postanowiono przeprowadzić analizę polegającą na ocenie:

- wizualnej jakości modelu stereoskopowego
- dokładności identyfikacji punktów na stereotermogramie
- dokładności wyznaczenia położenia punktów w przestrzeni na podstawie pomiaru na stereotermogramach
- dokładności osadzania znacznika pomiarowego na powierzchni modelu

Kamery termograficzne, rejestrują rozkład natężenia promieniowania podczerwonego w specjalnie w tym celu opracowanych formatach zawierających

dotatkowe dane umożliwiające wizualizację i obliczanie temperatury off-line. Obrazy zwizualizowane za pomocą programu „TermaCam Reporter 2000” przetworzono na pliki graficzne w formacie TIFF. Do obserwacji stereoskopowej można wykorzystać dowolny program graficzny, ale dla przeprowadzenia dokładnych pomiarów na stereotermogramach należy posiadać profesjonalne oprogramowanie fotogrametryczne. Obserwacje stereoskopowe w tym przypadku prowadzono korzystając z autografu cyfrowego VSD-AGH.



Termogram budynku zarejestrowany w zimie



Termogram tego samego budynku zarejestrowany w lecie tą samą kamerą

Rys. 1 Termogramy budynku zarejestrowane w różnych porach roku  
Fig. 1-Thermograms of the building recorded in various conditions.

Polepszenie jakości efektu stereoskopowego przy zwiększeniu rozdzielczości kamery nie było zaskoczeniem. Zauważono jednocześnie bardzo dużą zależność jakości efektu od rozpiętości rozkładu temperatury na obiekcie. Im większe zróżnicowanie tym lepszy był obraz na termogramie (rys 1) i tym lepszy efekt stereoskopowy. Stereogramy utworzone z obrazów wykonanych w zimie były bardzo trudne do obserwacji stereoskopowej. W warunkach zimowych zewnętrzne ściany budynków charakteryzują się małą rozpiętością temperatur, zwłaszcza, gdy są to budynki dobrze ocieplone lub słabo ogrzewane. Aby te małe różnice pokazać wyraźnie prezentuje się termogramy w najmniejszym zakresie temperatur, co z jednej strony daje najwyższą dokładność odczytania temperatury, ale z drugiej strony ukazuje na obrazie wpływ szumów zewnętrznych i wewnętrznych kamery. Powierzchnie o jednolitej w rzeczywistości temperaturze mają wtedy strukturę kaszy. Ten efekt bardzo utrudnia obserwację stereoskopową.

Ocenę dokładności identyfikacji punktów na termogramie przeprowadzano już w czasie innych badań [2]. Mierzono wówczas obrazy pola testowego ze specjalnie sygnalizowanymi termicznie punktami. Otrzymano błąd identyfikacji punktu  $\pm 0.1$  piksela. Czym innym jest jednak identyfikacja sygnalizowanych punktów, a czym innym niesygnalizowanych szczegółów, zwłaszcza na „rozmytym” termogramie.

Na stereotermogramach badanych obiektów pomierzono w sumie 172 punkty charakterystyczne. Pomiar wykonywano niezależnie przez dwóch różnych obserwatorów. Z różnic podwójnego pomiaru wyznaczono błąd identyfikacji. Punkty charakterystyczne mierzono zarówno monokularnie jak i stereoskopowo. Spodziewano się w ten sposób ocenić wpływ obserwacji stereoskopowej na dokładność identyfikacji szczegółów.

Okazało się, że niezależnie od przyjętego wariantu pomiaru, pory wykonania zdjęć i rozdzielczości kamery uzyskano podobne wyniki. Błąd identyfikacji charakterystycznych szczegółów badanych obiektów wahał się od jednego do półtora piksela.

Następnym etapem badań było określenie dokładności wyznaczenia przestrzennego położenia szczegółów charakterystycznych na podstawie stereotermogramów. Pierwszym krokiem było wykonanie orientacji tych obrazów w autografie. Ponieważ termogramy nie mają znanych elementów orientacji wewnętrznej do ich orientacji zastosowano funkcję DLT. Jako fotopunkty wykorzystano po dziewięć szczegółów charakterystycznych na obu budynkach. Na hali przemysłowej współrzędne przestrzenne fotopunktów, jak i pozostałych szczegółów, wyznaczono przez geodezyjny pomiar biegunowy za pomocą tachimetru elektronicznego TCRA-1102 firmy Leica. Umożliwia on pomiar odległości przez odbicie wiązki lasera bezpośrednio od powierzchni obiektu. Dokładność pomiaru tym instrumentem zależy od wielu czynników. W naszym przypadku można przyjąć, że wynosiła ona  $\pm 2$  cm. Na budynku mieszkalnym współrzędne fotopunktów i pozostałych punktów odniesienia wyznaczono na podstawie pomiaru fotogrametrycznego. W tym celu wykonano stereogram zdjęć normalnych kamerą Photoe 1318. Fotopunkty konieczne do jego orientacji pomierzono teodolitem TC 600 metodą wcięcia wprzód.

Do analizy dokładności dla hali przemysłowej wykorzystano 112 punktów, a dla budynku mieszkalnego 60. Długość bazy dla stereotermogramów obu obiektów wynosiła 7.5 m.. Porównując współrzędne przestrzenne obliczone na podstawie pomiaru na stereotermogramach ze współrzędnymi wyznaczonymi na podstawie pomiaru fotogrametrycznego i geodezyjnego wyznaczono dokładność określenia położenia szczegółów charakterystycznych w przestrzeni. W analizie tej pomiar fotogrametryczny i geodezyjny przyjęto za bezbłędne, ponieważ są one znacznie bardziej dokładne niż opracowanie stereotermogramów. Uzyskane wyniki zestawiono w tabeli 1. Jak widać, powiększenie rozdzielczości kamery spowodowało proporcjonalne zmniejszenie terenowej wartości błędu opracowania. Potwierdziły się, więc wnioski z analizy dokładności identyfikacji szczegółów na obrazie, że nie zależy ona od rozdzielczości obrazów ani też od pory roku, w której wykonano rejestrację.

Tabela 1 Błąd określenia położenia punktu w przestrzeni na podstawie stereotermogramów.  
Table 1 Error of spatial placing of points on the basis of stereographs.

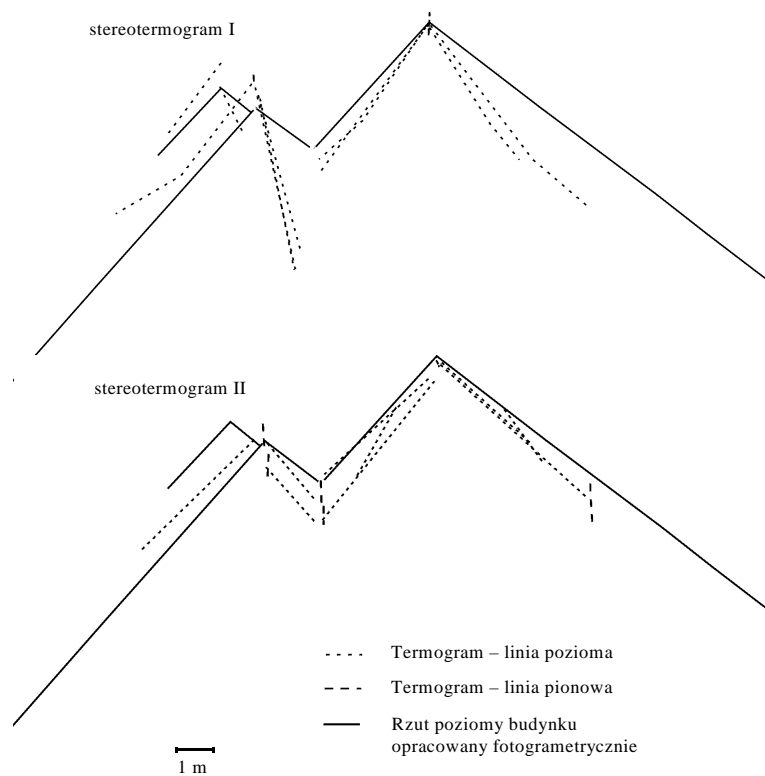
Obiekt	Rozdzielczość kamery -	Średnia odległość od bazy [m]	Błąd położenia punktu mp [m]	Błąd względny mp/d
hala przem.-zima	140x140	30	0.55	0.017
hala przem.-lato	320x240	30	0.31	0.009
bud. mieszk. -zima	140x140	65	1.9	0.030
bud. mieszk. -lato	320x240	65	1.0	0.016

Dokładność pomiaru szczegółów charakterystycznych nie jest pełną oceną jakości modelu stereoskopowego, zwłaszcza dla stereotermogramów. Należy, bowiem sprawdzić również, z jaką dokładnością osadza się znaczek pomiarowy w dowolnym miejscu powierzchni obiektu (wiadomo, że trudniej jest tam osadzić znaczek, niż na punktach charakterystycznych).

Ocenę tą przeprowadzono przez porównanie położenia linii wektorowych rysowanych na stereotermogramie i na modelu fotogrametrycznym. Wybrane przykłady opracowania na podstawie kamery o rozdzielczości 320x240 pikseli przedstawiono na rysunku 2. Niektóre linie rysowane na stereotermogramie dość dobrze pokrywają się z liniami z modelu fotogrametrycznego. W innych miejscach odchylenia są duże. Zwraca również uwagę fakt, że błędy położenia linii wektorowych były często wyraźnie większe niż średni błąd określenia położenia szczegółów charakterystycznych. Na przedstawionym rysunku niektóre załamania linii są przesunięte o ok. 3 do 4 m, natomiast błąd średni określenia położenia szczegółów wynosił 1m. Wrażenia obserwatora podczas rysowania pokrywają się z uzyskanymi wynikami. Przy małej skali obrazu model stereoskopowy był wyraźnie widoczny. Znaczek pomiarowy na powierzchni obiektu osadzało się wtedy dość dobrze, jednak bezwzględna dokładność takiego pomiaru była mała. Gdy powiększono skalę obrazu okazało się, że powierzchnia modelu przestała być tak dobrze widoczna i w niektórych miejscach osadzenie znaczką było bardzo mało dokładne.

Na termogramach, wykonanych kamerą o rozdzielczości 140x140 pikseli w lecie, wyraźnie lepiej osadzało się znaczek niż na wykonanych tą samą kamerą w zimie.

W niektórych przypadkach na stereotermogramach zimowych w ogóle nie można było osadzić znacznika na powierzchni obiektu (poza wyraźnymi szczegółami charakterystycznymi). Przedstawiony na rys. 1 efekt „kaszy” powstający na termogramach zimowych znacznie bardziej przeszkadzał jak widać w osadzaniu znacznika na powierzchni obiektu niż na jego szczegółach.



Rys. 2. Porównanie linii narysowanych na stereotermogramach budynku mieszkalnego wykonanych kamerą o rozdzielczości 320x240 i na modelu fotogrametrycznym  
Fig. 2 - Comparison of the lines drawn on the stereographs of the building made with thermal camera with resolution 320x240 and with photo camera.

### 3. PODSUMOWANIE

Dokładność odwzorowania geometrii obiektów uzyskiwana na podstawie pomiaru stereotermogramów jest o wiele niższa niż na podstawie metod fotogrametrycznych. Nawet opracowania wykonywane niezbyt wysokiej klasy fotograficznymi aparatami cyfrowymi są o wiele dokładniejsze. Najnowsze kamery termograficzne posiadają tylko około 77 000 pikseli, podczas gdy już stosunkowo tanie aparaty cyfrowe mają ich kilka milionów. Nie jest to jedyna przyczyna tak dużej różnicy dokładności. Wspomniana już wcześniej płynność rozkładu temperatury na powierzchni obiektu powoduje rozmycie granic szczegółów i ich trudniejszą identyfikację. Niewielkie niestabilności pracy kamery, oraz duży wpływ szumów - wtedy, gdy pracuje ona na najdokładniejszych zakresach - powodują drobne zróżnicowanie pomiędzy termogramami tworzącymi stereogram. Zmniejsza to dokładność osadzania znaczków pomiarowego zwłaszcza w miejscach bez wyraźnych szczegółów charakterystycznych. Stereotermogramy nie zastąpią zatem stereopar zdjęć fotograficznych tam, gdzie chodzi o uzyskanie w miarę dokładnych informacji geometrycznych o obiekcie. Mogą natomiast stanowić źródło przybliżonych danych o geometrii zarejestrowanego obiektu, przydatnych nieraz przy wykonywaniu dokumentacji z pomiarów termograficznych.

Godnym podkreślenia jest fakt, że dwa odpowiednio wykonane termogramy da się obserwować stereoskopowo i że ta obserwacja jest pomocna w interpretacji rozkładu temperatury. Nawet termogramy obiektów o małym zróżnicowaniu temperatury na ich powierzchni dają się obserwować stereoskopowo, aczkolwiek dokładność tej obserwacji jest bardzo niska. Efekt stereoskopowy może być, zatem wykorzystywany przy opracowaniach termograficznych, nawet przez osoby które z fotogrametrią nie mają nic wspólnego. Stereotermogram jest, bowiem łatwo wykonać, wystarczy zarejestrować nie jeden a dwa obrazy z dwóch różnych punktów tak, aby osie kamery były mniej więcej równoległe do siebie. Jeśli stereoskopia służyć ma jedynie do oglądania rozkładu temperatury w przestrzeni, a nie do pozyskiwania informacji o geometrii obiektu, baza stereotermogramu może być dość krótka. Model stereoskopowy ogląda się dobrze przy małym stosunku bazowym (b/d) np. od 1/10, do 1/50, a nawet do 1/100. Zastosowanie krótkiej bazy pozwala zaś na szybkie wykonanie stereotermogramu. Do stereoskopowej obserwacji obrazów wystarczy prosty stereoskop i dowolny program graficzny, aby wyświetlić dwa obrazy obok siebie na ekranie monitora. Można oczywiście oglądać przez stereoskop wydrukowane na papierze termogramy, ale podczas druku spada jakość obrazu.

### PIŚMIENNICTWO

- [1] Sawicki Piotr, Więcek Bogusław: Cyfrowy system video termalny dla aplikacji w bliskim zasięgu. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. Vol. 8 .str. 13-1:13-8, Kraków 1998
- [2] Wróbel Alina: Badanie dokładności geometrycznej obrazów termograficznych. Materiały IV Konferencji Krajowej Termografii i Termometrii w Podczzerwieni, str. 262:270, Łódź 2000

## **INTERPRETATION OF THERMOGRAMS OF CONSTRUCTIONS WITH USE OF STEREOSCOPY**

### **S u m m a r y**

Authors are proposing use of stereoscopic observation of thermograms in order to simplify their interpretation.

Analysis of the quality of the stereoscopic model has been made on the images of industrial and habitable buildings. It has been found that model is clearly visible when it is seen in a low scale. Enlargement of the image resulted in decreasing accuracy of observations. Accuracy of spatial placement of objects' elements recorded on the stereograph. In order to acquire geometrically accurate information about the object it is necessary to make a photographic stereopair, but thermographical stereograph is very useful in the interpretation of temperature distribution.

**KEYWORDS:** thermography, stereoscopy