

LOTNICZE ZOBRAZOWANIA TERMALNE W 3D

©Lubecki A., 2005

Stereoscopy techniques widespread in the world for many years have been used in many fields, among others in photogrammetry, remote sensing, advertisement and didactic activities, trademarks, chemistry, physics and so on. Taking into consideration a low resolving power of thermal pictures and its continuous increasing tendency, the opportunity to use the possessed thermograms to create thermocouples as well as usefulness of its models resulting from the interpretation of changes in the following environments: natural, municipal and industrial ones has been used. The formation and presentation ways of three-dimensional have been determined. The display of thermal objects, registered from the airplane and helicopter levels have been used. The statistical analysis of thermograms as the measure of its usefulness to create a three-dimensional model 3D and its histograms has been carried out.

Wstęp. Termowizyjna rejestracja obrazów z uwagi na zakłóceniewą propagację fal w atmosferze może odbywać się w dwóch oknach atmosferycznych o długości fal, 3–5 i 8–13 μ m. Fale krótszego zakresu termalnego ulegają większym wpływom atmosferycznym podczas rejestracji w dzień, niż fale dłuższego

zakresu. Dlatego wybrano drugi zakres rejestracji do zobrazowań termalnych środowiska przyrodniczego. Termogramy rejestrowano za pomocą skanera termalnego szwedzkiej firmy Agema LWB 880. Jednocześnie z każdym termogramem rejestrowano panchromatyczny obraz wizyjny, najpierw czarno biały, później barwny za pomocą kamer ccd. Interpretacja termogramów barwnych i obrazów cz-b np. powierzchni terenów uprawnych następczo wiele problemów jeśli na obiekcie występowało niewielkie zróżnicowanie termiczne (Mularz 2003). Jeśli na lotniczym obrazie cz-b istniały granice (drogi, miedze i pola uprawne), a na termogramie jedynie obszary termopowierzchni nie pokrywające się z granicami obrazu cz-b, wówczas nie było wiadomo gdzie mierzyć wartości temperatur rozgraniczanych obszarów. Trudności występowały również przy lokalizacji gatunkowej roślinności. Zmieniono więc obrazowanie wizyjne cz-b na barwne. Kolejne problemy pojawiły się z interpretacją środowiska na lotniczych termogramach terenów o znacznych deniwelacjach. I wówczas rozpoczęto obrazowanie stereoskopowe z wysokich wież i pokładów samolotów. Pierwsze próby wykonano w roku 1994, a następnie w kolejnych latach przy okazji zobrazowań lotniczych miast i terenów wiejskich w różnych rejonach kraju. Z uwagi na niską rozdzielczość termogramów nie zwracano uwagi na geometryczny aspekt zobrazowań, a jedynie na wzajemne pozycjonowanie między obiektami na modelach termoskopowych co w tym przypadku było zagadnieniem kluczowym. Zobrazowania termalne rejestrowano w programach termalnych THERMO w wersjach Whug i Vhuglr, oraz ThermoScope, a opracowania termogramów przeprowadzono w programie TheroScope wersja 2. Wszystkie wymienione programy powstały we współpracy Katedry Fotogrametrii i Teledetekcji UWM w Olsztynie i Instytutu Elektroniki, Politechniki Łódzkiej.

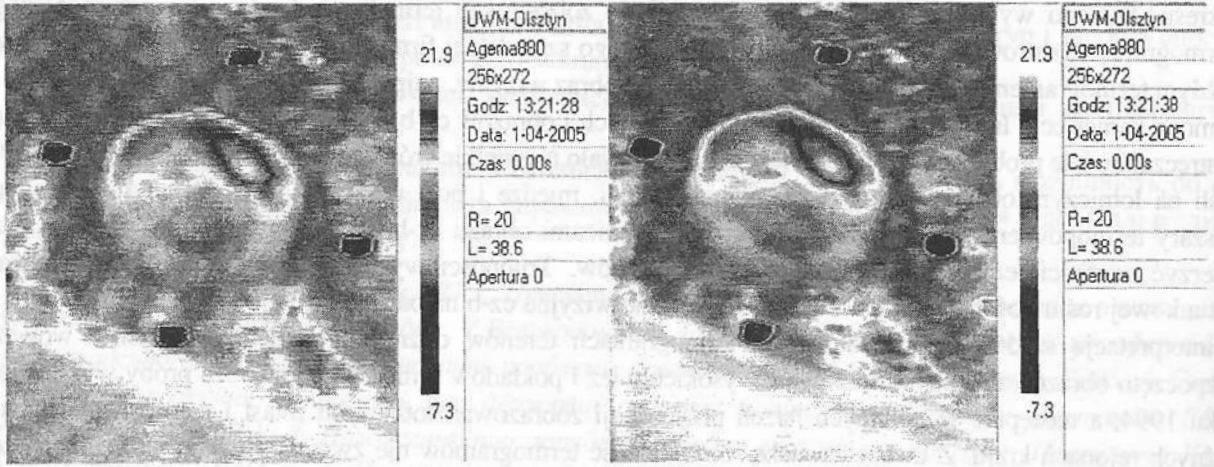
Realizacja zobrazowań stereotermalnych. Z uwagi na poprawność oglądanego modelu termalnego, optymalnym miejscem rejestracji w takiej sytuacji jest stabilne stanowisko znajdujące się na odpowiednim podwyższeniu. Jednak w pobliżu miejsc rejestracji takie stanowiska występują sporadycznie. Częściej można wykorzystać podnośniki samochodowe o podwyższaniu stanowisk rejestracji w granicach do 50m. W przypadku braku dostępu do miejsc rejestracji i zjawisk szybkozmiennych istnieje konieczność wykorzystania pokładu śmigłowca jako platformy rejestracji termalnej z uwagi na jego stosunkowo wolną prędkość przelotową. Najmniej przydatnym do tego celu jest płatowiec z powodu na dużą prędkość przelotową. Poza tym do startu i lądowania konieczne jest lotnisko co zwiększa dystans przelotu i zarazem podwyższa koszty, a zmniejsza możliwości manewrowania podczas rejestracji.

Zobrazowania termostereoskopowe ze względu na konieczność stosowania minimalnych czasów między kolejnymi rejestracjami muszą być dokładnie wpasowane w optymalny zakres temperatur występujących na obrazowanym obiekcie. Dlatego przed rejestracją należy dokładnie rozpoznać obiekt badań i ustalić parametry rejestracji odnośnie: zakresu, emisyjności, kierunków wiania i prędkości wiatru, kierunku oświetlenia słonecznego i górowania słońca, wilgotności, rodzaje pokrycia terenowego itp. Każde zobrazowanie termostereoskopowe wymaga ustalenia pory roku i doby rejestracji. Np. podczas zobrazowań lotniczych, przybrzeżnych obszarów jezior, celem lokalizacji zrzutów zanieczyszczeń rejestracja musi być wykonywana przed wschodem słońca [2].

Statyczną próbę uzyskania modelu 3D ze stanowiska wzniesionego wykonano na termogramach rejestrowanych z wysokości 10m pod kątem 70 stopni od pionu, rys 1.

Wysoka zależność między dwoma termogramami wskazuje na ich przydatność do utworzenia termostereopary i możliwości otrzymania modelu 3D.

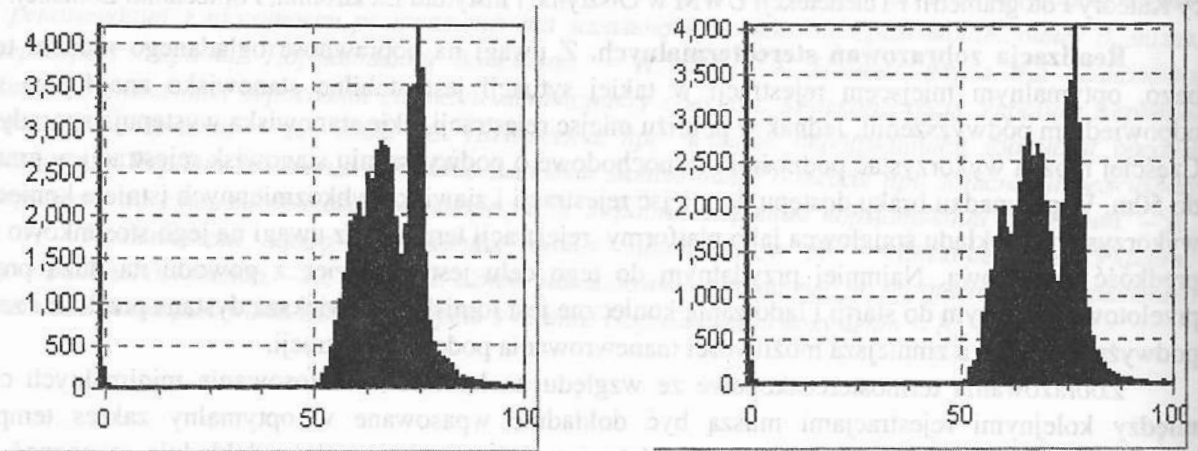
Bezpośrednio przy obrazowanym obiekcie ułożono cztery termopunkty wykonane z blachy aluminiowej w kształcie kwadratów o wymiarach 5x5 cm. Ze względu na niski współczynnik emisyjności blachy aluminiowej termopunkty doskonale wyróżniają się z otoczenia i można je wykorzystywać do tego celu. Utworzony z termogramów model stereoskopowy można interpretować uwzględniając rozkład i wzajemne położenie termopunktów. Stabilizacja termopunktów możliwa jest na obiektach będących pod ciągłym nadzorem. Na obiektach o znacznie większych powierzchniach, stabilizacja termopunktów jest z góry skazana na niepowodzenie. W tych przypadkach termopunktami stają się punkty na obiektach szczególnie w sytuacjach gdy rejestrowane obiekty są trudno lub całkiem nie dostępne. Jak w przypadku poniższego termogramu przedstawiającego zarastanie jeziora na obszarze miasta Morağa.



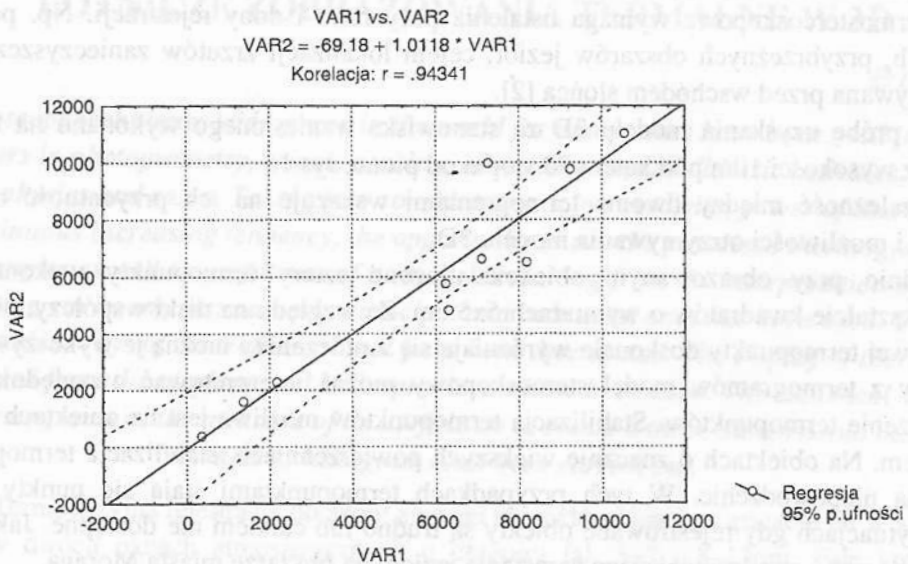
H1

H2

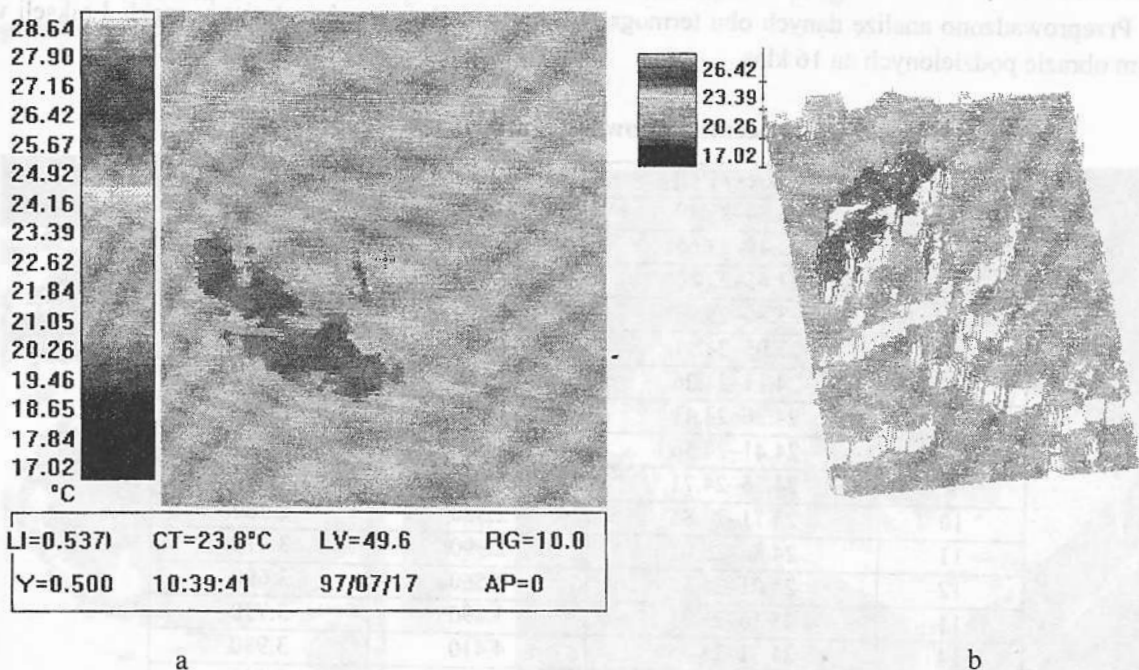
Rys. 1. Termogramy rejestrowane ze stacjonarnego, podwyższonego stanowiska, gdzie: Wysokość stanowiska $H_s = 10$ m, bżaza $B = 20$ cm, interwał zobrazowań $\Delta t = 10$ s



Rys. 2. Histogramy termogramów H1, H2



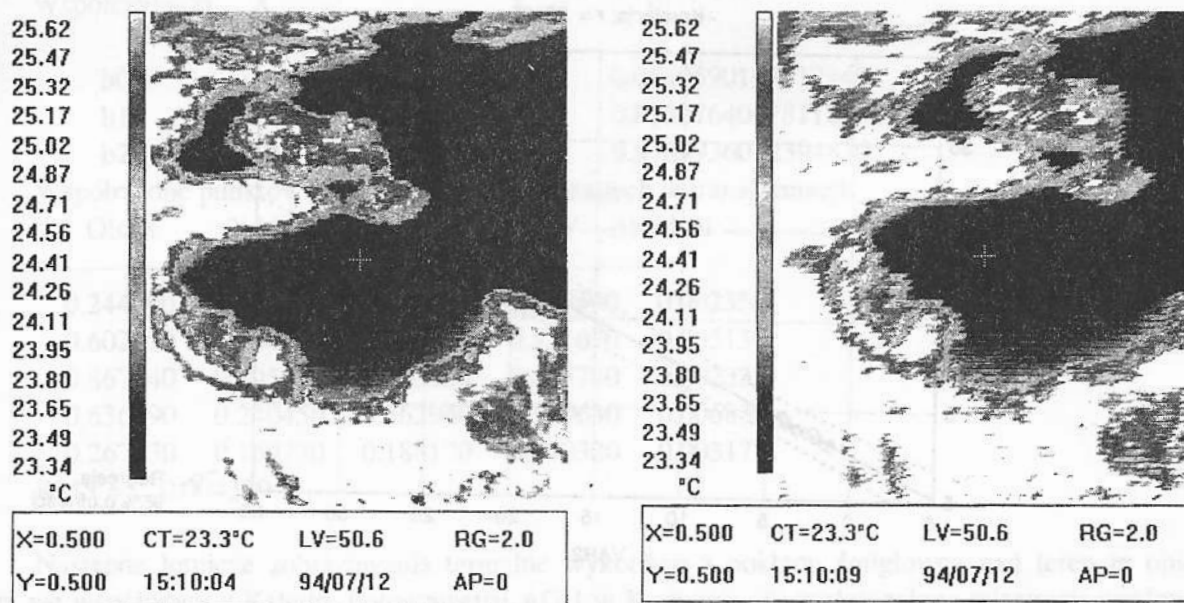
Rys. 3. Zależność między liczebnościami pikseli w termogramach H1 i H2



Rys. 4. Termogram lotniczy (a) i jego model 3D (b) uzyskany za pomocą aplikacji programowej programu Thermo

Model 3D można obserwować z każdej strony obracając go wokół trzech osi współrzędnych przestrzennych.

Kolejne lotnicze zobrazowania termalne wykorzystane do modelowania w 3D wykonano w lipcu 1994r z pokładu płatowca PZL Wilga nad brzegiem jeziora Wulpińskiego i wsi Dorotowo k/Olsztyna.



Rys. 5. Termostereopara VARI, VAR 2. Strefa przybrzeżna jeziora Wulpińskiego we wsi Dorotowo k/ Olsztyna. Interwał rejestracji – 5 s

Przeprowadzono analizę danych obu termogramów w oparciu o powierzchniowy rozkład pikseli w każdym obrazie podzielonych na 16 klas.

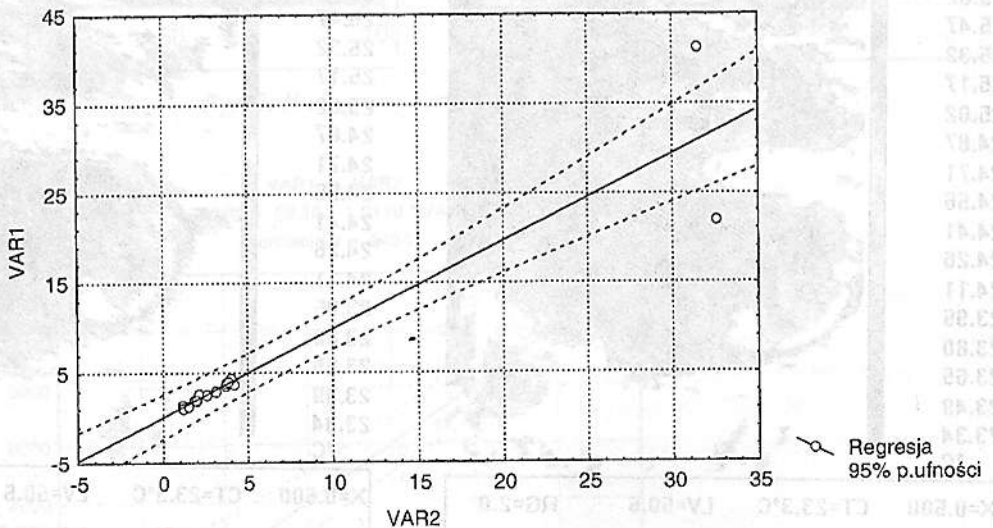
Histogramy procentowe powierzchni klas w termogramach

Klasy	Zakresy [°C]	VAR1	VAR2
1	23.34–23.49	21.980	32.540
2	23.49–23.65	3.740	4.170
3	23.65–23.80	2.680	2.110
4	23.80–23.95	1.960	1.860
5	23.95–24.11	1.440	1.140
6	24.11–24.26	1.160	1.140
7	24.26–24.41	1.080	1.190
8	24.41–24.56	1.320	1.520
9	24.56–24.71	1.990	1.980
10	24.71–24.86	2.580	2.560
11	24.86–25.01	2.990	3.110
12	25.01–25.16	3.560	3.690
13	25.16–25.31	3.890	3.730
14	25.31–25.46	4.410	3.980
15	25.46–25.61	4.010	3.840
16	25.61–25.76	41.200	31.440

Zależność poszczególnych klas termogramów wykazano za pomocą regresji liniowej otrzymując następujące wyniki.

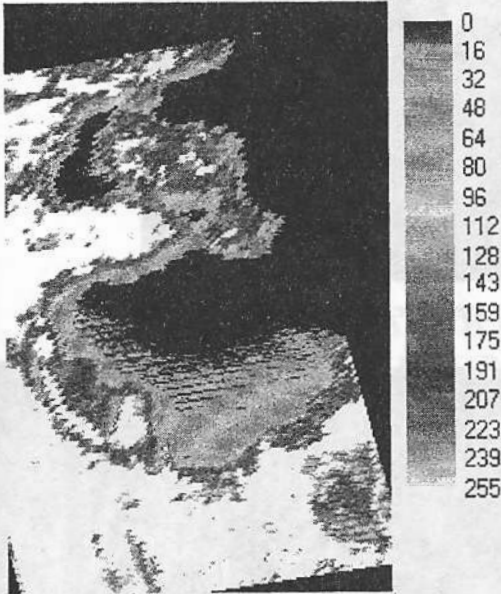
VAR2 vs. VAR1

$$\text{VAR1} = .14215 + .97716 \cdot \text{VAR2}$$
 Korelacja: $r = .93600$

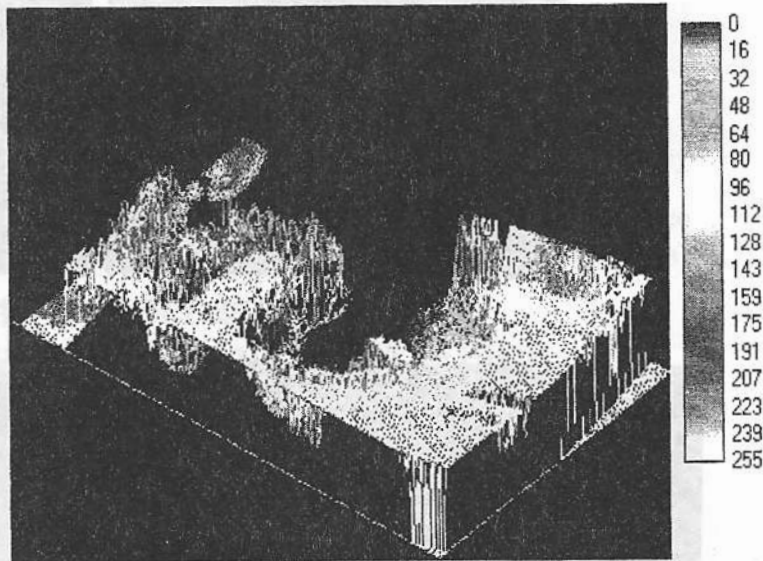


Rys. 6. Wykres regresji obrazujący zależność między klasami obu termogramów lotniczych tworzących termostereoparę

W kolejnym etapie analiz termogramów wykonano resample w programie Idrisi for Windows oraz orthographic perspective.



Rys. 3. Resample termogramów VAR1 i VAR2
RMS = 3.86



Rys. 4. Orthographic perspective obiektu

Resample : Transformacja przy 5 punktach kontrolnych

Współczynniki: X Y

b0	0.0862445233144346	0.0540590198917349
b1	0.9653136677407156	0.0282764097811805
b2	0.0122242373774806	0.9769936072394830

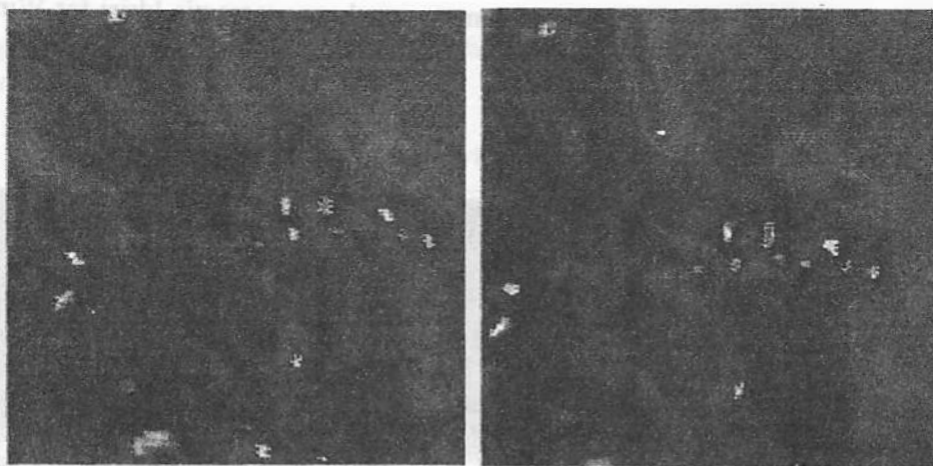
Współrzędne punktów kontrolnych wykorzystanych w transformacji:

Old X	Old Y	New X	New Y	Residual
0.244700	0.985860	0.149930	0.950490	0.002359
0.602550	0.594060	0.533240	0.536070	0.005130
0.867040	0.495050	0.803350	0.425740	0.002332
0.636490	0.240450	0.562940	0.179630	0.006836
0.267330	0.169730	0.188120	0.110320	0.003171

RMS = 0.004339

Następne lotnicze zobrazowania termalne wykonano z pokładu śmigłowca nad terenem obiektu Łazy we współpracy z Katedrą Fotogrametrii AGH w Krakowie. Termalny zakres rejestracji ustalono na podstawie występujących minimalnych i maksymalnych temperatur na całym obiekcie.

Dalsze badania nad tworzeniem termostereopar i poprawności modeli 3D w tym zakresie będzie kontynuowane przy wykorzystaniu kamer termalnych o najwyższych rozdzielczościach, zobrazowań celowo do tych potrzeb wykonanych, programów odpowiednio przygotowanych wraz z zastosowaniem już istniejących np. Dephos i innych.



Rys. 7. Termogramy wykorzystane do utworzenia termostereopary



Rys. 8. Resample termogramów



Rys. 9. Orthographic perspective thermo

Wnioski i zalecenia. 1. W miarę wzrostu rozdzielczości termogramów, należy oczekiwać na wyraźne polepszenie jakości uzyskiwanych termalnych modeli 3D.

2. Do powstawania termogramów jako termostereopary należy tak wykonywać zobrazowania, aby zależność między nimi była ścisła.

3. Przy zwiększeniu rozdzielczości obrazów termalnych wzrośnie również szczegółowość obrazowanych elementów terenowych, a co za tym idzie dokładność identyfikacji punktów na termogramach.

4. Z powodu niskiej rozdzielczości zobrazowań termalnych obiektów, ich odwzorowania geometryczne nie powinny być jeszcze obecnie traktowane jako element istotny, wykorzystywany do dokładnych opracowań mapowych. Należy traktować takie dane jako informację przydatną do innych celów niż wymienione wyżej. Na przykład do śledzenia zmian temperaturowych, obszarów nie wymagających precyzyjnych pomiarów sytuacyjno-wysokościowych. W miarę postępu sytuacja ta będzie się zmieniać na lepsze.

1. Grońska J. i inni. *Stereoskopia w interpretacji termogramów obiektów inżynierskich* // *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. – Wrocław, 2003. – Vol. 13 B. – S. 371–377. 2. Lubecki A., *Termalno-Wizyjny System Komputerowy (TWSK) w wybranych lotniczych zobrazowaniach terenu*. XV *Ogólnopolska Konferencja. Teledetekcji i Fotointerpretacji Telefotogeo 94. Fotointerpretacja w geografii*. –

Warszawa, 1994. 3. Mularz S., Wróbel A., Badanie rozkładu temperatury powierzchni terenu z wykorzystaniem zobrażeń termowizyjnych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. – Wrocław – Polanica Zdrój. 15–17 września 2003 r. 4. Wróbel A., Wróbel A. Stereoskopowa obserwacja termogramów // VI Krajowa Konferencja Termografia i Termometria w Podczerwieni. Ustroń-Jaszowiec. – 4–6 XI 2004 r.

Recenzował: dr inż. Tadeusz Wrona, AR Kraków