



Andrzej Lubecki\*

## **Termalno-Wizyjny System Komputerowy (TWSK) w wybranych lotniczych zobrazowaniach terenu\*\***

*Thermal-Visual Computer System (TVCS) for the selected images of land surface\*\*\**

**T**hermal-Visual Computer System (TVCS) is a new version of the Thermal Computer System (TCS). It was elaborated in the Institute of Geodesy and Photogrammetry at the Agricultural-Technical Academy in Olsztyn. The system contains the following integral components: thermal scanner AGEMY LWB 880, functioning in the range 8-12  $\mu\text{m}$  of the electromagnetic spectrum, and personal notebook computer 386. TVCS can be used on a stationary workplace, on a car, or in an airplane. The difference between the TCS and the TVCS systems consists in the introduction into the latter of the registration, with a CCD camera, of the visual electromagnetic range in parallel to the registration of the thermal range. The images can be memorized individually, sequentially or in real time. Processing of the images is possible directly within the own program of the computer system or outside of it, in some other graphic software. Both systems work under WINDOWS 3.1. The software available makes it possible to indicate the same points in two images and to contour the objects. This facilitates finding of any points and areas interesting for the analyst. An additional facility is introduced by the use of the rectangular coordinate system (x,y), with the origin in the left lower corner of the thermal image window. The optics of both the cameras is so selected as to make the CCD camera show the area twice as big as the one presented by the thermal camera. This makes localization of the analysed points on the land surface more easy. During taking of thermal images, the control and regulatory function is carried out by the display unit, equipped with

a small TV monitor and the devices regulating the range of measurements and the functioning of the whole system. The respective interfaces are in an additional container, to be plugged into the computer directly before registration.

The equipment included in the TVCS is presented schematically in Fig. 1.

The TVCS was applied in the study of pollution of the lakes and of the closest vicinity of one of the petrol stations near Olsztyn (provincial seat in Northern Poland), caused by oil-related products. Thermographic recording was performed from aboard of the MI-2 helicopter and a small aircraft Wilga PZL-104. Recording of thermal images was carried out in various hours of night and day, in the periods of strong thermal contrast. Images were registered both individually and sequentially from the height of 500 mts. and 800 mts. Sequential imaging was carried out with longitudinal overlaying of approximately 20%. This made it possible to construct continuous thermograms, ready for further processing in appropriate programs and for interpretation of the spatial distribution of temperature of the objects in question.

It was determined empirically that the velocity of flight at the height of 100 mts. should not exceed 15 mts./sec., and at the height of 1,000 mts. it should not exceed 40 mts./sec. Observation of these velocities prevents the fuzziness of the images obtained. The examples of thermal aerial images recorded from the height of 800 mts. and transformed into a unified scale are presented in Figs. 2 and 3.

\* Dr inż. Andrzej Lubecki, Akademia Rolniczo-Techniczna, Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej, Instytut Geodezji i Fotogrametrii, Kortowo, 10-718 Olsztyn, Tel.: (48 89) 23 49 92.

\*\* Referat wygłoszony na XV Ogólnopolskiej Konferencji Fotointerpretacji i Teledetekcji, Warszawa, 21 września 1994 r.

\*\*\* Paper presented at the XV Polish Conference of Photo-interpretation and Remote Sensing, held in Warsaw on September 21st, 1994.

## Wstęp

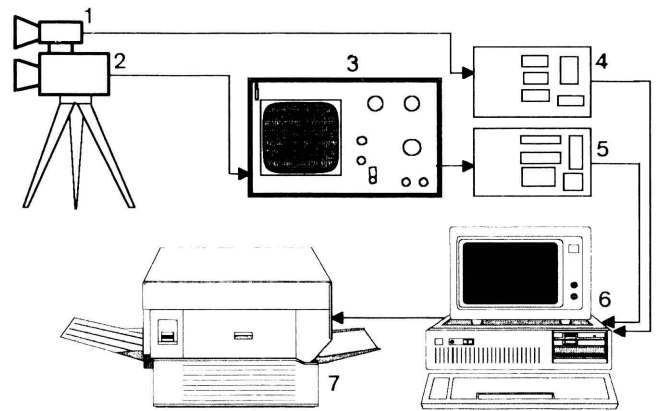
W przyrodzie zachodzi wiele zjawisk charakteryzujących się gromadzeniem lub wydzielaniem energii cieplnej mogącej być indykatorem przemian. Jeśli zachodzące przemiany są dla nas korzystne to nie ma problemu, ale gdy występujące procesy są destrukcyjne, należy je jak najszybciej wykryć i zlokalizować. Dotyczy to głównie zagadnień związanych z ochroną środowiska, diagnostyką w przemyśle, ze stanem izolacji w budownictwie, ciepłownictwie, energetyce itp. Temu między innymi ma służyć Termalno-Wizyjny System Komputerowy (TWSK).

## Opis systemu

TWSK jest nowszą wersją Termalnego Systemu Komputerowego (TSK). Powstał on w Instytucie Geodezji i Fotogrametrii ART w Olsztynie przy współudziale Instytutu Elektroniki Politechniki Łódzkiej.

Integralnymi elementami systemu są: skaner termalny AGEMY LWB 880, pracujący w zakresie II-go okna atmosferycznego (8-12  $\mu\text{m}$ ) oraz komputer IBM typu notebook 386. TWSK może pracować na stanowisku stacjonarnym lub przenośnym na przykład w samochodzie lub samolocie. Różnica między obu systemami polega na wprowadzeniu w TWSK równoczesnej rejestracji z zakresem termalnym obrazów w zakresie widzialnym za pomocą kamery CCD. W TSK rejestrowano obrazy tylko w zakresie termalnym. Obrazy w systemie TWSK są zapamiętywane w pamięci komputera: pojedynczo, sekwencyjnie lub mogą być oglądane w czasie rzeczywistym. Zasilanie sieciowe lub bateryjne stwarza możliwości pracy w laboratorium i w terenie, o każdej porze dnia i nocy. Opracowywanie obrazów możliwe jest bezpośrednio w programie własnym systemu lub poza nim w innym programie graficznym. Oba systemy pracują pod programem Windows 3.1. Program ten umożliwia dokonywanie wskazań tych samych punktów na obu obrazach oraz konturowanie obiektów. Pomaga lokalizować interesujące badacza obiekty lub na przykład miejsca uszkodzeń trudne do identyfikacji w inny sposób. Pomocny jest również układ współrzędnych prostokątnych, z początkiem w lewym dolnym rogu okna obrazu termalnego. Wymienione trzy elementy bardzo przydatne w opracowywaniu danych wyróżniają system spośród innych. Są one konieczne do lokalizacji punktów niewrażliwych w miejscach sytuacyjnie wątpliwych przy dużej ilości innych przedmiotów znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie z badanym obszarem. Optyka obu kamer jest tak dobrana, żeby kamera CCD umożliwiała uzyskanie obrazu o powierzchni dwukrotnie większej niż obraz z kamery termalnej. Ułatwia to lokalizację badanych obszarów. Podczas rejestracji obrazów termalnych funkcję kontrolno-regulacyjną spełnia jednostka sterująca, wyposażona w mały czarno-biały monitor, układy regulacyjne rodzajów pracy systemu i zakresów pomiarowych. Interfejsy umieszczone są w dodatkowym pojemniku, (*docking station*) i są

dolączone do komputera przed rejestracją. Urządzenia wchodzące w skład TWSK przedstawiono schematycznie na ryc. 1.



Ryc. 1. Schemat systemu TWSK

1 — kamera CCD; 2 — kamera termalna; 3 — urządzenie kontrolno-regulacyjne; 4 — interfejs kamery CCD; 5 — interfejs kamery termalnej; 6 — komputer typu notebook; 7 — drukarka kolorowa

Fig. 1. Equipment of the Thermal-Visual Computer System (TVCS)

1 — Visual CCD camera; 2 — thermal camera; 3 — control device; 4 — interface of the CCD camera; 5 — interface of the thermal camera; 6 — notebook; 7 — colour printer

Interfejs łączący kamerę termowizyjną z komputerem pozwala na transmisję danych obrazu termalnego generowanego przez kamerę oraz jego parametrów do pamięci operacyjnej komputera. Oprogramowanie umożliwia wyświetlanie obrazów na ekranie monitora, zapamiętywanie ich na twardym dysku lub dyskietkach i ich odtwarzanie. System rejestracji obrazów może pracować w jednej z trzech procedur:

- zapamiętywanie pojedynczych obrazów;
- zapamiętywanie sekwencji obrazów z zadanim czasem repetycji;
- zapamiętywanie wszystkich obrazów generowanych przez kamerę w czasie rzeczywistym.

Pozwalają one na przetwarzanie obrazów termalnych w następujących opcjach (Lubecki, 1994).

1 — **Opcja file:** otwieranie, zamykanie i kasowanie obrazów, zapisywanie w pamięci komputera lub na dyskietkach w formacie *aga* i *bmp*, wydruk czarno-biały i barwny.

2 — **Opcja edit:** wpisywanie komentarza do każdego obrazu, wprowadzanie redukcji temperatury ze względu na odległość i emisyjność.

3 — **Opcja view:** ustalanie rzeczywistych proporcji obrazów, wykonanie przekrojów wzdłuż linii poziomej i pionowej, wykonywanie mapy temperatury w postaci wykresów trójwymiarowych z możliwością obracania ich względem płaszczyzny poziomej i pionowej, powiększanie wybranego fragmentu obrazu termalnego, wybieranie palet, wybór skal temperatur (C, K, F), redukcja szumów, informacja procentowa o udziale temperatur w danym obrazie, wyznaczenie emisyjności obiektu w punkcie kursora (Lubecki, Więcek, 1994), włączanie lub przerywanie wyświetlanego filmu, konturowanie obiektów w jednym lub obu oknach.

4 — **Opcja overlay:** możliwość skalowania obu obra-

zów do tej samej skali, możliwość wyświetlania na ekranie obu obrazów, tylko obrazu termalnego, tylko obrazu CCD lub obu obrazów bez uwzględniania skali o jednakowej powierzchni okien.

5 — **Opcja options:** umożliwia wybranie odpowiedniego sposobu akwizycji obrazów, ustala jak ma być wyświetlany obraz (barwny lub czarno-biały), czy mapa rozkładu temperatury ma być przedstawiona punktowo czy liniowo, ustala jeden z czterech sposobów konturowania oraz umożliwia ustawienie granic konturowania w oparciu o przedziały temperatur na obrazie termalnym lub gęstości optycznej na obrazie CCD.

6 — **Opcja camera:** jest właściwą funkcją rozpoczynającą rejestrację obrazów; jeśli ma być rejestracja sekwencyjna, to użytkownik zostanie zapytany o nazwę pliku, w którym będą zapisywane kolejne obrazy, należy ją bezwzględnie podać; istnieje również możliwość wpisania komentarza do każdego rejestrowanego obrazu.

7 — **Opcja window:** posiada możliwość wyboru systemu wizualizacji zobrazowań, ich kasowania, transportu do schowka, tworzenia dodatkowego (zapasowego) okna do opracowywania i przetwarzania termogramów.

Dane techniczne TWSK przedstawiono w tabeli 1.

## Obrazowanie za pomocą TWSK

Po zamontowaniu i podłączeniu elementów systemu w samolocie należy ustalić wstępne warunki rejestracji i dokonać nastawień w jednostce sterująco-kontrolnej uzupełnić ciekły azot w urządzeniu chłodzącym skanera, włączyć części termalną i wizyjną w celu ustabilizowania się parametrów pracy kamer, co trwa około 20 minut. Następnie można włączyć komputer, nastawić w wybranym programie rodzaj rejestracji obrazów, sposób zapamiętywania ich w jego pamięci i czas repetycji. Komputer należy pozostawić włączony w oczekiwaniu na rozpoczęcie rejestracji. Aby nie zablokować pamięci RAM i HDD należy pamiętać o:

— pojemności dysku, na który zapisywane będą obrazy;

— o ilości pamięci zajmowanej przez jeden obraz.

Ma to szczególne znaczenie podczas rejestracji ciągłej z samolotu przy długich odcinkach terenu (100-200 km). Należy tak sterować pracą urządzeń aby nie zablokować lub nie przekroczyć możliwości rejestracji obrazów na dysku twardym, co może się zdarzyć, gdy zajdzie potrzeba powtórzenia przelotu z przyczyn od nas niezależnych. Należy również pamiętać o doborze odpowiedniej wysokości lotu do prędkości przelotu samolotu lub śmigłowca.

## Podstawowe metody przetwarzania obrazów

Głównymi problemami występującymi przy badaniu procesów cieplnych z zastosowaniem kamer termowizyjnych są trudności ze zidentyfikowaniem obiektu na termogramie. Często poprawna interpretacja obrazu jest trudna nawet dla doświadczanego operatora. Stąd

Tabela 1

Podstawowe dane zintegrowanego systemu termalnego i wizyjnego (TWSK)

*Basic data of the Thermal-Visual Computer System (TVCS)*

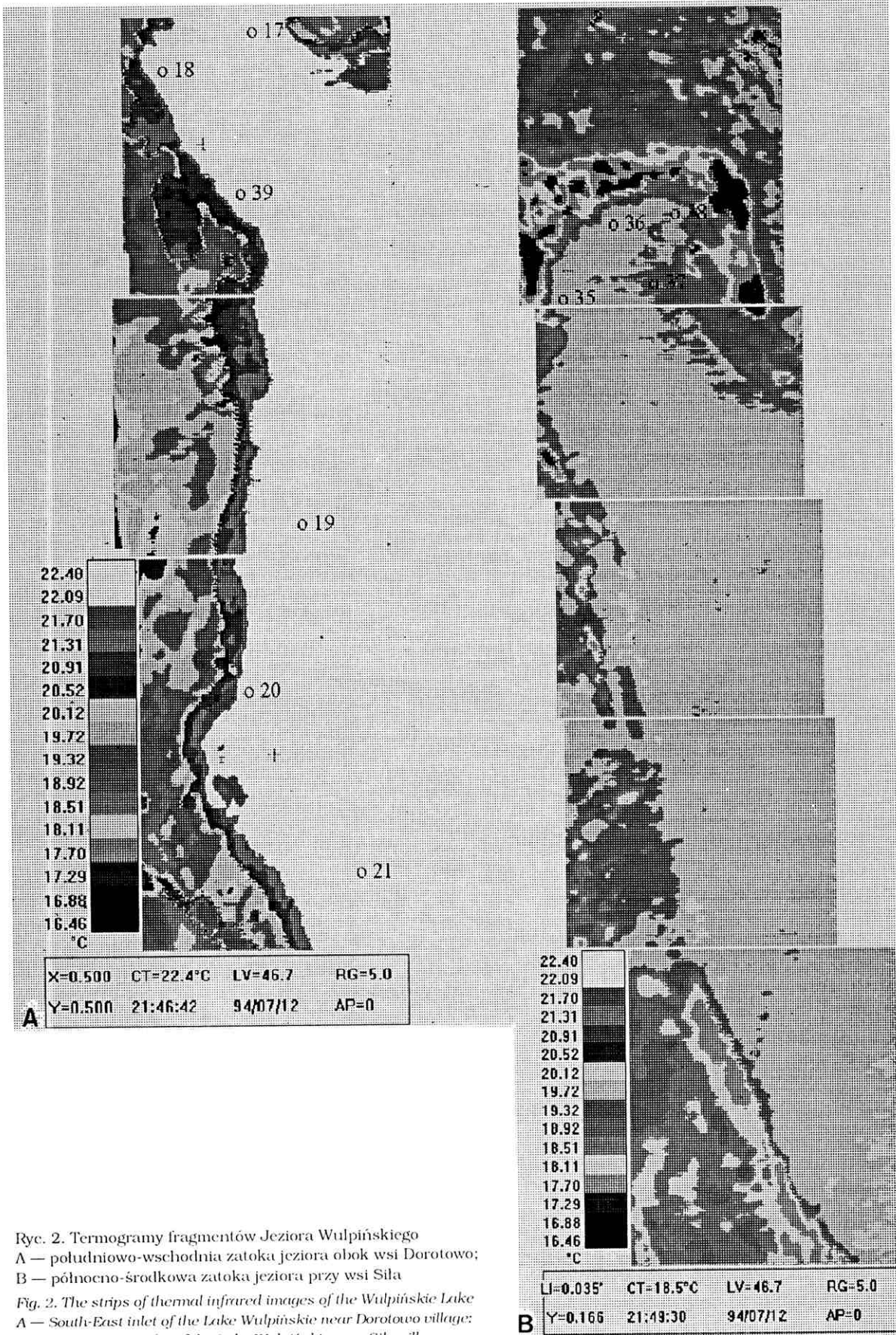
| Cecha<br>Feature   | System   |   |
|--|--|---|
|  | Termalny<br>Thermal  | Wizyjny<br>Visual                           |
| Rozdzielczość<br>Resolution  | TVS40TE-256x 60<br>AGEMA880-256x400  | 512x240<br>(480-interfejs)                  |
| Rozdzielczość<br>przetwarzania<br>Processing<br>resolution                   | A/C — 4/8 bits   | A/C — 8 bits                                |
| Szybkość<br>rejestracji<br>Recording speed                                   | tryb w czasie<br>rzeczy-wistym —<br>1 obraz/50 ms<br>w pamięci TVS40TE,<br>AGEMA880 — 1<br>obraz/160 ms<br>tryb repetycyjny<br>HDD $t_{min}$ — 0,5 s | —   |
| Częstotliwość<br>próbkiowania<br>Sampling frequency                          | —  | 15 MHz<br>(Quartzcontrolled<br>PLL)         |
| Processor graficzny<br>Graphical processor                                   | —  | TMS34010 —<br>40 MHz                        |
| Tryb<br>Mode   | —  | Life Video                                  |
| Pojemność systemu<br>Capacity of the<br>system                               | Tryb w czasie<br>rzeczywistym — 128<br>obrazów/1MB RAM<br>Tryb repetycyjny —<br>ograniczona<br>pojemność HDD   | Ograniczona<br>pojemność HDD                |
| Wejście sygnału<br>wizyjnego<br>Visual input                                 | —  | 1Vp-p(CVS)                                  |
| Wyzwalanie<br>Release  | automatyczne<br>zewnętrzne z<br>klawiatyury  | automatyczne<br>zewnętrzne z<br>klawiatyury |
| Liczba kolorów na<br>ekranie SVGA<br>Number of colours<br>on the screen SVGA | 16/64  | —   |
| Grafika<br>Graphics  | —  | 16/256 SVGA-kolor                           |

wywnosiła się propozycja jednoczesnego przedstawiania na ekranie obrazów termalnych i w zakresie widzialnym. Wizualizacja tych obrazów może odbywać się na wiele sposobów. W niniejszej pracy zaproponowano dwa z nich, a mianowicie:

— w środowisku WINDOWS przez wyświetlenie dwóch obrazów w dwóch różnych oknach na ekranie;

— nakładanie konturów obrazu w zakresie widzialnym na obraz termalny.

Dobrze znany i przedstawiony w literaturze problem ekstrakcji konturów w obrazie ze względu na subiektywną ocenę poprawności uzyskiwanych rezultatów do tej pory nie doczekał się jednoznacznego rozwiązania. Istnieje kilka rozwiązań opartych na analizie lokalnego rozkładu intensywności sygnału w obrazie, w badanym oknie. We wszystkich przypadkach ekstrakcja konturów odbywa się w dwóch etapach: uwydatnienia krawędzi i obcinania progowego. W pierwszym etapie przeprowadzona jest analiza rozkładu luminancji, w drugim wy-



Ryc. 2. Termogramy fragmentów Jeziora Wulpińskiego  
 A — południowo-wschodnia zatoka jeziora obok wsi Dorotowo;  
 B — północno-środkowa zatoka jeziora przy wsi Siła

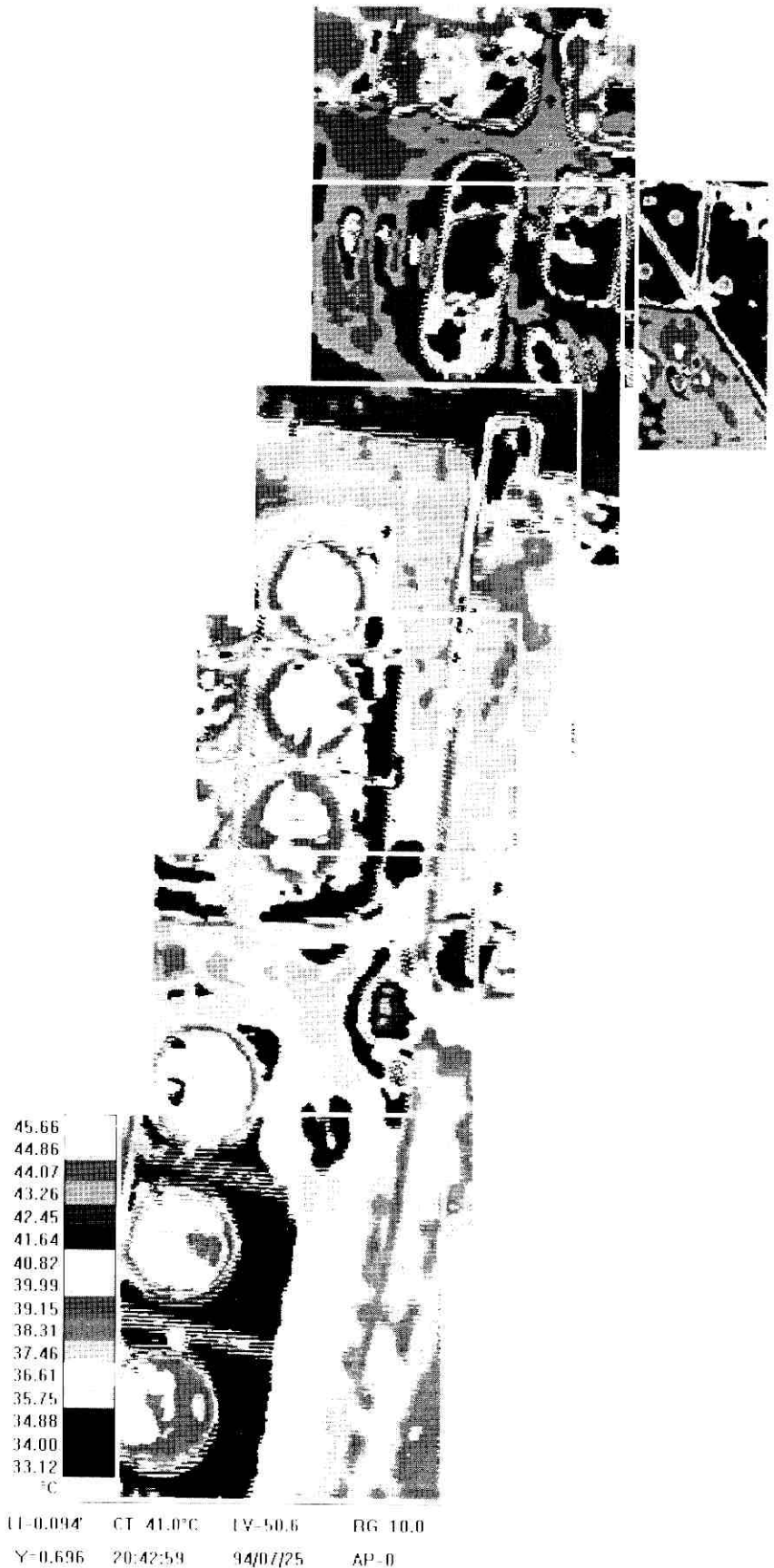
Fig. 2. The strips of thermal infrared images of the Wulpińskie Lake  
 A — South-East inlet of the Lake Wulpińskie near Dorotowo village;  
 B — North-middle inlet of the Lake Wulpińskie near Siła village

tworzona jest mapa konturów. Końcowym wynikiem jest złożenie konturów obrazu w zakresie widzialnym i termogramu. Należy zauważyć, że zbyt złożony obiekt może spowodować brak czytelności takiego obrazu ze względu na złożoność jego konturów. W tym przypadku konturowanie może okazać się mało przydatne. Zwykle porównanie obu obrazów w dwóch sąsiednich oknach jest wystarczające do szybkiej identyfikacji obiektów na obrazie termalnym i interpretacji rozkładu przestrzennego zarejestrowanej temperatury tych obiektów. Bardzo pomocna jest tu możliwość skalowania obrazów oraz wskazywania tych samych elementów obrazów przez kursor, a także wykorzystanie wartości współrzędnych kursora stawianego na analizowanym szczególe obrazu.

### Wybrane lotnicze zobrazowania terenu

Czystość wód jezior w ostatnich latach na ogół pogarsza się. Proces ten szczególnie szybko postępuje na obszarach rekreacyjnych i rolniczych, intensywnie nawożonych. Celem sprawdzenia przydatności sprzętu TWSK do lokalizacji ropopochodnych źródeł zanieczyszczeń wód jeziornych i gleb, przeprowadzono badania eksperymentalne na wodach jeziora Wulpińskiego k/Olsztyna i na terenie jednej bazy paliw.

Rejestrację termograficzną wykonywano z pokładu śmigłowca MI-2 w różnych porach dnia i nocy, w okresie dużego kontrastu termicznego. Wykonywano obrazy pojedyncze oraz repetycyjne z wysokości 500 i 800 m. Obrazy repetycyjne realizowano szeregami z pokryciem podłużnym równym lub większym od 20% (Lubecki, Głazewski, Tandyrak, 1994). Umożliwiło to, po ich przeskalowaniu i częściowym przetworzeniu, zmontowanie ciągłych termogramów gotowych do dalszych opracowań i interpretacji rozkładu przestrzennego temperatury w odpowiednich programach komputerowych. Eksperyment wykazał, że niezbędne jest, aby podczas rejestracji zachować niezmiennie warunki odnośnie stałego termalnego zakresu rejestracji oraz stałej tak zwanej maksymalnej prędkości lotu a także stałego czasu repetycji. Stały zakres rejestracji oraz stały czas repetycji łatwo można utrzymywać podczas całego lotu poprzez nastawienie



Ryc. 3. Blok termogramów obszaru bazy paliw

Fig. 3. The strip of thermal infrared images of the fuel tanks area

ich wartości w programie przed lotem. Trudniej jest utrzymać stałą prędkość lotu. Warunek ten może zapewnić jedynie doświadczony pilot. Poza tym należy pamiętać, żeby nie przekraczać maksymalnej prędkości lotu przy wykonywaniu z pokładu samolotu skanowanych obrazów termalnych. Doświadczalnie ustalono, że prędkość lotu na wysokości  $H = 100$  m nie powinna być większa niż 15 m/s, a na wysokości  $H = 1000$  m nie powinna przekraczać 40 m/s. Spełnienie tych warunków zapewnia uzyskanie wyraźnych nierozmazanych obrazów. Przy większych prędkościach odwzorowanie linii prostej wygląda jak użębienie piły, co zmniejsza czytelność obrazu. Na podstawie przeprowadzonych prób należy stwierdzić, że opracowany przez autora Termalno-Wizyjny System Komputerowy spełnia wszystkie wymagania potrzebne do rejestracji i przetwarzania obrazów termalnych pozyskiwanych z pokładu samolotu lub śmigłowca.

Przykłady zobrazowań lotniczych w postaci szeregów termograficznych pozyskanych z wysokości 800 m i przetworzonych do jednakowej skali przedstawiono na ryc. 2 i 3.

## Literatura

- Lubecki A., Głażewski R., Tandyrak R., 1994: Termografia lotnicza w próbie lokalizacji zanieczyszczenia jezior. *Materiały II Ogólnopolskiej Konferencji Termografii i Termometrii w Podczzerwieni*, Porąbka-Kozubnik 24-26.11.1994.
- Lubecki A., Wićcek B., 1994: Wybrane problemy zastosowania termografii w zmiennych warunkach środowiska. *Materiały II Ogólnopolskiej Konferencji Termografii i Termometrii w Podczzerwieni*, Porąbka-Kozubnik 24-26.11.1994.
- Lubecki A., 1994: Rejestracja i opracowania cyfrowe w termalnym systemie komputerowym. *Materiały Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego "Systemy Informacji Terenowej GIS/LIS oraz Analityczne i Cyfrowe Opracowania w Fotogrametrii i Teledetekcji*, AGH, Kraków.

Maszynopis złożono w Redakcji: 1994.11.21.

Wydawnictwa

POLSKIEGO TOWARZYSTWA GEOGRAFICZNEGO:

### czasopismo geograficzne

pl. Uniwersytecki 1, 50-137 Wrocław  
tel.: 351-84, 402-283

### FOTOINTERPRETACJA w GEOGRAFII

ul. Krakowskie Przedmieście 30,  
00-927 Warszawa  
tel. 62-00-381 wew. 654; 26-17-94

### Polski przegląd kartograficzny

(wydawany wspólnie z PPWK im. E. Romera, S.A.)  
ul. Solec 18, 00-410 Warszawa  
tel. 628-32-51

