

**Sprawozdanie z badań statutowych**  
**Zakładu Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej**  
**w 2002 r.**

*Temat nr 11.150.459*

*Cyfrowe systemy obrazowej rejestracji, przetwarzania i udostępniania informacji o środowisku*

**Kierownik tematu: Prof. dr hab. inż. Józef Jachimski**

**Podtematy:**

***1. Fotogrametryczna inwentaryzacja zabytków***

Wykonawcy: Prof.dr hab.inż. Józef Jachimski, Dr inż. Władysław Mierzwa

***2. Model Numeryczny i ortofotomapa***

Wykonawca: dr inż. Beata Hejmanowska

***3. Fotogrametria w Społeczeństwie Informacyjnym XXI wieku.***

Wykonawcy: Prof.dr hab.inż. Józef Jachimski, Dr inż. Władysław Mierzwa,  
mgr inż. Monika Maciejewska

***4. Teledetekcja inżynieryjna.***

Wykonawcy: dr inż. Andrzej Wróbel, dr inż. Beata Hejmanowska

## ***1. Fotogrametryczna inwentaryzacja zabytków***

Wykonawcy: Prof.dr hab.inż. Józef Jachimski, Dr inż. Władysław Mierzwa

W roku 2002, w związku ze znacznym ograniczeniem środków, nie prowadzono badań w ramach tego tematu badawczego.

Doprowadzono natomiast do opublikowania materiału omawiającego bardzo wartościowe wyniki uzyskane wcześniej.

Publikacja:

Jachimski J., Mierzwa W. „Representation of historical frescos using digital photogrammetry“ ukazała się drukiem w Wydawnictwie PAN o/Kraków, seria “Geodezja” nr 39/2002.

Publikacja, w języku angielskim, zawiera opis opracowanej w Zakładzie [Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH metody wykonywania metrycznych fotoplanów malowideł znajdujących się na powierzchni niepłaskiej. Metoda ta sprawdzona praktycznie na przykładzie malowideł znajdujących się na niepłaskim sklepieniu biblioteki oo.Cystersów w Lubiążu, znalazła zastosowanie również w innych pracach inwentaryzacyjnych (sklepienie kościoła oo.Pijarów w Krakowie, sklepienie Kaplicy Świętokrzyskiej w Katedrze na Wawelu), wykonanych w naszym Zakładzie. Opracowana metoda polega na zastosowaniu różniczkowego przetwarzania obrazów pomiarowych w oparciu o zbudowany metodą fotogrametryczną numeryczny model powierzchni sklepienia. Fotoplany powierzchni sklepienia przedstawiane są w odwzorowaniu na regularną powierzchnię rozwijalną (najczęściej jest to powierzchnia walcowa), tak dobraną, aby jak najlepiej aproksymowała rzeczywistą powierzchnię sklepienia.

### **Literatura:**

Jachimski J., Mierzwa W., - “Representation of historical frescos using digital photogrammetry”, Wyd. PAN o/Kraków, seria “Geodezja”, nr 39/2002.

## **2. Model Numeryczny i ortofotomapa**

Wykonawca: dr inż. Beata Hejmanowska

W roku 2002 przedmiotem badań w zakresie modelu numerycznego i ortofotomapy była analiza wpływu ich niedokładności na analizy wykonywane z systemach GIS.

Problem wiarygodności baz danych, w tym baz danych GIS jest zagadaniem ważnym wtedy kiedy, rzeczywiście chcemy wykorzystać je do wspomagania decyzji, czyli podjąć jakąś decyzję mając świadomość konsekwencji. Wydaje się, że stopień zaufania do danych jest jednym z elementów, który może podnieść zarówno świadomość jak i pewność w podejmowaniu decyzji. Odsuwanie tego problemu w imię popularyzowania technik wspomagania decyzji za pomocą GIS wydaje się być niepotrzebnym działaniem.

W pracach badawczych prowadzonych w ramach podtematu, opisanych w załączonej publikacji zostały zasygnalizowane dwa problemy, jeden dotyczy niedokładności Cyfrowego Modelu Terenu (CMT), a drugi niedokładności ortofotomapy.

Niedokładność modelu wysokościowego została przeanalizowana w kontekście wyznaczania potencjalnych stref zalewowych wokół rzeki oraz pod kątem problemu przenoszenia się błędów na mapy pochodne do CMT: spadków i ekspozycji.

Natomiast dyskusja niedokładności ortofotomapy dotyczy problemu możliwości wyznaczania powierzchni działki z określoną, zadaną dokładnością.

Oba zagadnienia są związane z aktualnie prowadzonymi w Polsce projektami: nad tworzeniem Ośrodków Koordynacyjno-Informacyjnych dla prewencji przeciwpowodziowej, oraz związanymi z tworzeniem systemu dopłat bezpośrednich do rolnictwa. Oba te systemy budowane są jako systemy GIS i wykorzystują jako dane źródłowe zarówno ortofotomapy jak i Cyfrowe Modele Rzeźby Terenu.

W artykule opisano autorskie propozycje:

- wykorzystania znajomości błędu CMT w generowaniu stref zalewowych,
- szacowania błędu map pochodnych do mapy wysokościowej, czyli map nachyleń i ekspozycji na podstawie zadanego błędu CMT,
- klasyfikacji działek rolnych w systemie IACS (LPIS) w celu wyboru tych działek, dla których można z określoną w UE dokładnością obliczyć powierzchnię wykorzystując pomiar na ortofotomapie.

W przypadku wykorzystania CMT do generowania stref zalewowych zaproponowano zamiast tzw. metody „twardej”, w której wyznacza się linię przecięcia powierzchni wody z CMT, metodę „miękką” określającą prawdopodobieństwo, że teren zostanie zalany. Czyli linia jest „rozmywana” uwzględniając błąd CMT.

W przypadku generowania map pochodnych do CMT, czyli map spadków i ekspozycji mamy do czynienia z przenoszeniem się błędów. W ramach prac wyprowadzono analityczne wzory na błąd nachyleń i ekspozycji w oparciu o błąd CMT.

Przeanalizowano wzór Gaussa na pole powierzchni działki pod kątem przenoszenia się błędu pomiaru punktu na ortofotomapie na błąd powierzchni. Uwzględniono przepisy UE dotyczące tolerancji obliczania powierzchni działki. Końcowym efektem było obliczenie zależności umożliwiającej, dla dowolnej działki sprawdzenie, czy z danej ortofotomapie można uzyskać jej powierzchnię z zakładaną przez UE dokładnością.

**Literatura:**

Hejmanowska B. – „Data inaccuracy in Geographical Information System - propagation of DTM and ortophotomap errors in the spatial analysis”, Geodesy 40: “Godesy, Photogrammetry and Monitoring of Environment”, published by Polish Academy of Science (PAN), Kraków 2003 (to be published).

### **3. Fotogrametria w Społeczeństwie Informacyjnym XXI wieku.**

Wykonawcy: Prof.dr hab.inż. Józef Jachimski, Dr inż. Władysław Mierzwa, mgr inż. Monika Maciejewska

Bogata informacja zawarta w zobrazowaniach lotniczych i satelitarnych nie często bywa wykorzystywana przez nie-profesjonalistów. Przyczyną takiego stanu rzeczy są nie tylko historyczne uwarunkowania, związane z bardzo utrudnionym dostępem do zdjęć lotniczych w czasach PRL, ale również brak szerzej zakrojonej popularyzacji tych materiałów kartograficznych. Obecnie zarówno warunki formalno-prawne, jak i warunki techniczne uległy zasadniczej poprawie. Niestety znacznie wolniej postępuje edukacja społeczeństwa, zarówno w zakresie wiedzy o wartości informacji zawartych w obrazach lotniczych i satelitarnych, jak i – a może szczególnie – w zakresie umiejętności bezpośredniego korzystania z informacji obrazowych, a także z ogółu informacji zawartych w bazach danych Systemów Informacji Przestrzennej.

O wadze tej problematyki i docenieniu jej przez społeczności międzynarodowe świadczy między innymi powołanie w 2000r. przez Międzynarodowe Towarzystwo Fotogrametrii i Teledetekcji na ostatnim kongresie w Amsterdamie w ramach komisji VI – Edukacja i komunikowanie się, grup roboczych: edukacja i szkolenie, nauczanie wspomagane komputerowo, współpraca międzynarodowa i transfer technologii oraz zasoby internetowe i nauczanie na odległość.

Dotychczasowe nasze doświadczenia dotyczące kształcenia pracowników administracji w zakresie wykorzystywania obrazów w ich pracy pozwoliły nam uzmysłwić sobie trudności z jakimi należy się liczyć przy dokształcaniu ludzi dorosłych ( w latach 1997-98 prowadziliśmy kursy z obrazowej geoinformatyki w ramach europejskiego programu PHARE). Dlatego zdecydowaliśmy się rozpocząć wyprzedzającą działalność popularyzatorską w środowisku najłatwiej przyjmującym nowinki techniczne, a mianowicie w środowisku młodzieży szkolnej.

Powstaje pytanie, jakie przygotowanie (trening) jest niezbędne, aby można było skutecznie odczytywać treści zawarte w obrazach? Co można z obrazów odczytać bez specjalistycznego przygotowania? Problem ten podjęliśmy w ramach magisterskiej pracy dyplomowej. Grupa młodzieży z Gimnazjum nr 1 w Krakowie poddana została badaniom testowym, których celem było sprawdzenie na ile są oni w stanie samodzielnie interpretować treść zdjęć lotniczych i satelitarnych.

Aby odpowiedzieć na tego typu pytania przeprowadzono badania testowe, których celem było określenie potencjalnych możliwości odczytywania treści obrazów lotniczych i satelitarnych przez osoby nie przygotowane do tych czynności. Testowaniu poddano grupę uczniów gimnazjalnych. Wyodrębniono doświadczalnie obiekty terenowe o różnej łatwości identyfikacji na obrazach. W wyniku prac badawczych powstała praca dyplomowa pt.:”Analiza uwarunkowań percepcji interpretacji zdjęć lotniczych i satelitarnych u dzieci i

młodzieży” (dyplomantka Inż. Monika Maciejewska, promotor Prof. Józef Jachimski), oraz publikacja:

Maciejewska M., Mierzwa W., Jachimski J. „Natural ability of teenagers for perception of aerial and satellite images content”, która przyjęta została do druku w zwszycie nr 40/2003 wydawnictwa „Geodezja”, PAN o/Kraków .

#### **4. Teledetekcja inżynierska.**

*Wykonawcy: dr inż. Andrzej Wróbel, dr inż. Beata Hejmanowska*

##### **4.1 Opracowania geometryczne obrazów termograficznych.**

W roku 2002 kontynuowano rozpoczęte w poprzednim roku badania związane z uzyskiwaniem informacji metrycznych na podstawie obrazów termograficznych. Prace prowadzono w dwóch kierunkach: doskonalenie technologii rozwinięć obrazów termograficznych oraz wyznaczenie współrzędnych przestrzennych z wykorzystaniem stereopary obrazów termograficznych.

Rozwinięcia obrazów termograficznych obiektów walcowych i stożkowych

Opracowanie rozwinięcia polega na przekształceniu obrazu w rzucie środkowym na obraz w rzucie normalnym do powierzchni obiektu.

Termogram obiektu jest przeważnie obrazem bez wyraźnych szczegółów (rozmytym) ponieważ taki jest charakter rozkładu temperatury na obiekcie. Utrudnia to, lub wręcz uniemożliwia, wybór szczegółów obiektu jako punktów dostosowania. Dlatego zaproponowano wykorzystanie „sztucznych” punktów dostosowania których położenie na obiekcie oraz czasami również na termogramie jest wyliczone na podstawie matematycznych zależności. Do powiązania układu współrzędnych obrazu termogramu z układem obiektu wykorzystano funkcję DLT. Do wyznaczenia współczynników funkcji DLT konieczne jest posiadanie minimum sześciu punktów dostosowania. Ponieważ dla sześciu punktów jest to rozwiązanie jednoznaczne korzystne jest wykorzystanie większej ich liczby np. dziewięciu.

Rozwinięcie obrazu składa się z dwóch etapów: transformacji położenia środków pikseli z układu obrazu pierwotnego na układ wynikowego, a następnie interpolacja jasności pikseli obrazu wynikowego. Zagadnieniem istotnym dla rozwinięć (nie tylko obrazów termograficznych) jest dobór odpowiedniej metody transformacji położenia środków pikseli. Ponieważ powierzchnia obiektu nie jest płaską powierzchnią do wyboru pozostaje transformacja za pomocą wielomianów lub przetwarzanie metodą elementów skończonych. Dokładny opis powierzchni obiektu za pomocą elementów skończonych wymaga rozmieszczenia na niej dużej ilości punktów - wierzchołków elementarnych trójkątów. Transformacja wielomianowa może być stosowana tylko do przetwarzania obrazów powierzchni regularnych (walec, stożek ...), ale wymaga znacznie mniejszej ilości punktów dostosowania. Istnieje jednak problem doboru stopnia funkcji wielomianowej. Niski stopień funkcji wielomianowej spowodować może niedokładne dopasowanie obrazu do powierzchni obiektu. Zbyt wysoki stopień spowodować może dobre dopasowanie w pobliżu punktów dostosowania natomiast w obszarach pomiędzy punktami mogą powstać poważne odchylenia. Przeprowadzono testy dokładności transformacji obrazu z wykorzystaniem funkcji wielomianowej w stopniach od drugiego do piątego. Przeprowadzone badania wykazały, iż transformacja wielomianowa każdego stopnia obarczona była błędami systematycznymi. Jednak dla wielomianów stopnia od trzeciego do piątego wielkość tych błędów można uznać za nieistotne przy przetwarzaniu (błąd średni wpasowania dla wielomianu stopnia trzeciego =  $\pm 0.24$  piksela, czwartego =  $\pm 0.12$  piksela, a piątego =  $\pm 0.04$  piksela).

#### **Literatura**

Magdalena Prochalska Andrzej Wróbel „Opracowanie rozwinięcia obrazów termograficznych komina przemysłowego”. Materiały Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego „Fotogrametria i teledetekcja w społeczeństwie informacyjnym”. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji vol. 12b. Warszawa 2002

### **Wyznaczanie współrzędnych przestrzennych na podstawie stereopary termogramów**

Sposób wykonania stereopary obrazów termograficznych nie różni się zasadniczo od procedury stosowanej przy rejestracji stereoskopowych zdjęć fotograficznych. Najnowsze kamery posiadają matrycę detektorów o rozmiarach 320x240 pikseli. Jest to liczba znacznie mniejsza od ilości pikseli fotograficznych aparatów cyfrowych. Obiektywy kamer termograficznych posiadają stosunkowo duże błędy. Rozkład temperatury na powierzchni każdego obiektu cechuje się mniejszą lub większą płynnością. Powoduje to trudności w identyfikacji poszczególnych szczegółów obrazu. Biorąc to wszystko pod uwagę, można stwierdzić, że dokładność opracowania geometrii obiektu na podstawie obrazów termograficznych, będzie znacznie niższa, niż na podstawie zdjęć fotograficznych wykonanych z tych samych stanowisk.

Obrazy termograficzne, jeśli są w małej skali, obserwuje się stereoskopowo stosunkowo łatwo. Jeśli jednak powiększymy skalę obrazu na ekranie i spróbujemy osadzić na modelu znaczek pomiarowy, okaże się, że napotkamy miejscami duże trudności. Spowodowane jest to m.in. wspomnianym wyżej rozmyciem obrazu, zmiany tej temperatury w czasie pomiędzy zarejestrowaniem lewego i prawego termogramu oraz drobnymi różnicami obrazu wynikającymi z wewnętrznych szumów kamery. Drobne różnice obrazu częściowo można zlikwidować przez przefiltrowanie obrazu. Niewiele to jednak polepsza jakość osadzania znaczka.

Aby określić rząd dokładności, jakiej można spodziewać się przy pomiarze stereopary termogramów wykonano rejestrację pola testowego. Test był oddalony od kamery o około 6 m, a długość bazy wynosiła około 60 cm. Obiektów kamery miał kąt widzenia  $12^{\circ}$ . Termogramy wykonano z bazy stanowiącej 1/10 odległości do testu. Stosunek bazy był więc podobny do stosowanego w niektórych zagadnieniach fotogrametrii naziemnej. Wszystkie punkty testu (w ilości około 120) pomierzono tachimetrem elektronicznym TCR firmy Leica. Do utworzenia modelu stereoskopowego oraz do pomiarów na nim zastosowano autograf cyfrowy VSD-AGH. Model zbudowano wykorzystując transformację DLT. Na modelu pomierzono wszystkie punkty i porównano ich współrzędne z pomierzonymi geodezyjnie. Stwierdzono że trudna obserwacja stereoskopowa szczegółów obrazu powoduje niedokładne osadzanie znaczka pomiarowego. Mimo tych problemów, uzyskano lepsze niż się spodziewano dokładności pomiaru geometrii zarejestrowanego na termogramach testu. Jeżeli zatem nie jest potrzebna wysoka dokładność geometrii badanego obiektu, można ją uzyskać z modelu stereoskopowego utworzonego z termogramów.

Podsumowując można stwierdzić że obserwacja stereoskopowa termogramów może być pomocnym narzędziem przy ich interpretacji. Przeprowadzony eksperyment wykazał, że mimo spodziewanych trudności model stereoskopowy utworzony z odpowiednio wykonanych termogramów jest wyraźnie widoczny. Niestety obserwacja stereoskopowa drobnych szczegółów obrazu jest utrudniona.

### **Literatura:**



Alina Wróbel, Andrzej Wróbel „Badanie dokładności przestrzennego odwzorowania obiektów na podstawie stereopary zdjęć termograficznych” Materiały Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego „Fotogrametria i teledetekcja w społeczeństwie informacyjnym”.  
Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji vol. 12b. Warszawa 2002

#### 4.2 Przetwarzanie danych hiper/multispektralnych na podstawie pola testowego kopalń siarki Machów/Jeziórko.

Rekultywacja zdegradowanych terenów poeksploatacyjnych wymaga podjęcia skomplikowanych, czasochłonnych i kosztownych zabiegów. Efektywność zabiegów rekultywacyjnych jest w dużym stopniu uzależniona od stopnia aktualizacji posiadanej informacji o skali i rozkładzie przestrzennym degradacji terenów. W przypadku kopalń siarki problem dotyczy przede wszystkim deformacji terenu, zmian stosunków wodnych oraz zakwaszenia gruntów eksploatowanym surowcem. Wielkoobszarowość zjawiska i jego zmienność powodują trudności w uzyskaniu całościowego obrazu sytuacji w oparciu o tradycyjne metody pomiarów laboratoryjnych, wykonywane w postaci pojedynczych, punktowych badań.

Alternatywną metodą kartowania zjawiska degradacji gleb mogą stać się odpowiednio dobrane i przetworzone dane teledetekcyjne. Tego typu rozwiązanie zostanie eksperymentalnie zastosowane w objętym badaniami obszarze tarnobrzesckiego zagłębia siarkowego, dla którego brak jest informacji kartograficznej o stopniu zanieczyszczenia gleb siarką.

Opracowanie technologii zdalnej detekcji zanieczyszczenia gruntu siarką, z wykorzystaniem nowoczesnych hyperspektralnych danych wymaga wielu badań. Prace nad tym problemem są realizowane w ramach podprojektu UE „HySens - DAIS / ROSIS Imaging Spectrometers at DLR” (5PR HPRI-CT-1999-00075), o szczegółowym tytule: "Airborne spectrometry for abandoned mine site classification and environmental monitoring at the Machów sulphur mine district in Poland" (HS2002-PL4). W ramach projektu została wykonana kampania lotnicza przez niemiecką firmę DLR w sierpniu 2002, w ramach której zarejestrowano lotnicze obrazy hyperspektralne. Zasada tego projektu UE jest finansowanie tylko wykonania i przetworzenia obrazów hyperspektralnych. W związku z tym zaistniała konieczność sfinansowania z innych środków prac dodatkowych związanych z pomiarami terenowymi w trakcie trwania kampanii lotniczej, pomiarem laboratoryjnym zawartości siarki w pobranych próbach oraz pomiarem GPS dla kalibracji geometrycznej hyperspektralnych obrazów lotniczych. Te prace zostały sfinansowane w ramach prac własnych: 10.10.150.551.

Zakres prowadzonych prac jest bardzo duży, dlatego też w części zostały one dofinansowane w badaniach statutowych, które obejmowały badania metod przetwarzania obrazów hyperspektralnych na podstawie pozyskanego dla obszaru testowego obrazu satelitarnego: ASTER (14 kanałów spektralnych). Wykonane zostały ponadto spektralne pomiary laboratoryjne, specjalnie przygotowanych mieszanek siarki i piasku. Pomiar przeprowadzono w podczerwieni termalnej, za pomocą urządzenia: *Micro Fourier Transform Interferometer* (□FTIR) firmy *Design&Prototypes*. Wyznaczone za pomocą tego przyrządu krzywe spektralne - zależności pomiędzy współczynnikiem emisyjności, a długością fali dla siarki porównano z biblioteką amerykańskiego laboratorium JPL uzyskując bardzo dobrą zgodność. Wyniki pomiarów mieszanek są unikalne w świecie i wskazują na zmianę kształtu krzywej w spektralnej wraz ze wzrostem zawartości piasku w ten sposób, że stopniowo zanikają piki charakterystyczne dla siarki w przedziale od 10 do 14 □m, w porównaniu z pikiem charakterystycznym dla krzemionki dla długości fali 8,5 □m, który jest silny i pojawia się prawie bez zmian od razu w mieszanke piasku i siarki.

Odpowiednie powiązanie danych teledetekcyjnych z naziemnymi pomiarami spektrometrycznymi, a następnie porównanie z tradycyjnymi badaniami laboratoryjnymi da możliwość skalibrowania danych obrazowych oraz opracowania metodologii prowadzącej od pozyskania informacji obrazowej do map tematycznych jakościowo i ilościowo obrazujących stopień skażenia gleb.

Uzyskanie rezultatów o zadowalającym poziomie wiarygodności i dokładności umożliwiłoby włączenie technik teledetekcyjnych do monitoringu gleb zdegradowanych nie tylko w fazie rekultywacji ale i eksploatacji surowców. Nowoczesny i stosunkowo tani sposób pozyskiwania informacji o zdegradowanym obszarze w znaczącym stopniu ułatwiłby późniejszy proces planowania i kontroli prowadzonych prac rekultywacyjnych.

### **Literatura.**

Hejmanowska B. , 2003 – „An example of multi/hyperspectral data processing on the basis of the test site in sulphur mining area – Jeziorko/Machów”, Geodesy 40: “Geodesy, Photogrammetry and Monitoring of Environment”, published by Polish Academy of Science (PAN), Kraków 2003 (to be published).