

INSTYTUT PRAHISTORII UNIWERSYTETU IM. ADAMA MICKIEWICZA

OŚRODEK OCHRONY DZIEDZICTWA ARCHEOLOGICZNEGO

MUZEUM ARCHEOLOGICZNE W BISKUPINIE

POZNAŃSKIE TOWARZYSTWO PREHISTORYCZNE

Biskupin... i co dalej?

Zdjęcia lotnicze w polskiej archeologii

REDAKCJA

JACEK NOWAKOWSKI

ANDRZEJ PRINKE

WŁODZIMIERZ RĄCZKOWSKI

POZNAŃ 2005

ABSTRACT: Jacek Nowakowski, Andrzej Prinke, Włodzimierz Rączkowski (eds), *Biskupin... i co dalej? Zdjęcia lotnicze w polskiej archeologii* [Biskupin... and what next? Aerial photographs in Polish archaeology]. Instytut Prahistorii UAM, Ośrodek Ochrony Dziedzictwa Archeologicznego, Muzeum Archeologiczne w Biskupinie, Poznańskie Towarzystwo Prehistoryczne, Poznań 2005, pp. 522, fig. & phot. 199, colour plates 142. ISBN 83-916342-2-1. Polish text with English summaries and captions.

These papers present examples of the application of aerial photography in Poland and some other European countries. The authors discuss several issues including the history of Polish aerial archaeology, the conditions of its usefulness in Polish archaeology, certain contemporary technological resources that increase the effectiveness of the information in the photographs, the complex problems of photointerpretation and the closely related question of how to archive them and make them available, the universal uses of photographs in conservation work and in research practice. Aerial photographs also allow to look at archaeology from a different perspective, thus they can be a good basis for re-conceptualisation of many fundamental problems, such as methods of cultural landscape studies.

Recenzenci:

prof. dr hab. Bogusław Gediga
prof. dr hab. Sławomir Kadrow

© Copyright by Jacek Nowakowski, Andrzej Prinke, Włodzimierz Rączkowski 2005
© Copyright by Authors

Publikację wydano przy finansowym wsparciu Wielkopolskiego Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków, Dziekana Wydziału Historycznego UAM, Fundacji UAM, Aerial Archaeology Research Group oraz ze środków projektu *European Landscapes: Past, Present and Future* (Ref. No 2004-1495/001-001 CLT CA22) realizowanego w ramach programu Culture 2000.

Adjustacja streszczeń i tłumaczenie podpisów: Joanna Haracz-Lewandowska
Skład i łamanie: ad rem, Poznań – Jacek Tomczak

Projekt okładki: Jolanta i Konrad Królowie

ISBN 83-916342-2-1

Wydawca:

ad rem

ul. Słowiańska 38A/6

61-664 Poznań

tel./fax +48/61 826 78 44

e-mail: adrem@echostar.pl

Spis treści

| | |
|---|----|
| Jacek Nowakowski, Andrzej Prinke, Włodzimierz Rączkowski, <i>Latać, latać i... interpretować: problemy i perspektywy polskiej archeologii lotniczej</i> | 11 |
|---|----|

Część I: Trochę historii – czy tylko Biskupin?

| | |
|---|----|
| Wojciech Piotrowski, <i>Wykopaliska biskupińskie z lotu ptaka – próba podsumowania</i> | 27 |
| Lidia Żuk, <i>Dokąd prowadzisz Biskupinie?</i> | 51 |
| Dariusz Krasnodębski, <i>Pamiętkowy album z polskimi zdjęciami lotniczymi z lat 1923-1929</i> | 71 |
| Agnieszka Dolatowska, Danuta Prinke, <i>Do trzech razy sztuka: próba interpretacji zdjęć lotniczych z Kotliny Toruńsko-Bydgoskiej</i> | 81 |

Część II: Zdjęcia lotnicze i technologia

| | |
|--|-----|
| Sławomir Królewicz, <i>Charakterystyka wybranych cech współczesnych średnio- i wysokorozdzielczych danych teledetekcyjnych</i> | 101 |
| Jerzy Miałdun, <i>Wymiar fraktalny zobrazowań teledetekcyjnych krajobrazu ekologicznego, poddanego antropopresji</i> | 109 |
| Jerzy Miałdun, <i>Wstępna koncepcja struktury systemu pozyskiwania danych w trakcie rekonesansu lotniczego i ich transmisji do Internetu w czasie rzeczywistym</i> | 117 |

Część III: Problemy z interpretacją

| | |
|--|-----|
| Lidia Żuk, <i>W poszukiwaniu salomonowego rozwiązania, czyli o tym, kto powinien interpretować zdjęcia lotnicze – słów kilka</i> | 125 |
| Andrzej Kijowski, Stefan Żynda, <i>Struktury glacialne i peryglacialne jako tło dla archeologicznej interpretacji zdjęć lotniczych</i> | 145 |
| Krzysztof Maciejewski, <i>Wrózenie z fusów? Dylematy fotografującego obiektu archeologiczne</i> .. | 157 |

Część IV: Archiwizacja i udostępnianie zdjęć lotniczych w archeologii

| | |
|---|-----|
| Wiesław Stępień, <i>„Karta obserwacji terenu z góry”</i> | 165 |
| Katarzyna Bronk-Zaborowska, Andrzej Prinke, Lidia Żuk, <i>A_{Ph}_Max – baza danych o zdjęciach lotniczych dla potrzeb archeologii</i> | 171 |
| Andrzej Prinke, <i>Zaplecze informacyjne w zastosowaniach metody archeologicznego rekonesansu lotniczego</i> | 183 |
| Jerzy Miałdun, Izabela Mirkowska, Włodzimierz Rączkowski, <i>Wczesnośredniowieczne założenia obronne w Polsce północno-wschodniej: projekt systemu informacji archeologicznej</i> | 193 |

Część V: Zdjęcia lotnicze w praktyce konserwatorskiej

| | |
|---|-----|
| Zbigniew Kobyliński, Krzysztof Misiewicz, Dariusz Wach, <i>„Archeologia niedestrukcyjna” w północno-wschodniej Polsce</i> | 205 |
| Piotr Górny, Małgorzata Przybyszewska, Jacek Wysocki, <i>Weryfikacja terenowa zdjęć lotniczych</i> | 237 |
| Wojciech Sosnowski, <i>Dokumentacja fotolotnicza w archeologii ziemi chełmińskiej. Pierwsze doświadczenia, możliwości, perspektywy</i> | 241 |
| Andrzej Prinke, Włodzimierz Rączkowski, Bogdan Walkiewicz, <i>Archeologiczny zwiad lotniczy wzdłuż trasy planowanej autostrady A2 w granicach dawnego woj. poznańskiego</i> | 247 |

| | |
|---|-----|
| Jacek Nowakowski, <i>Znaczenie zdjęć lotniczych w konserwatorstwie archeologicznym na przykładzie stanowiska archeologicznego w Osiecznej (stan. 4)</i> | 257 |
| Tomasz Burda, <i>Archeologiczna apokalipsa. Wykorzystanie fotografii lotniczej w ocenie zniszczeń na stanowiskach archeologicznych w Iraku</i> | 263 |

Część VI: Od zdjęć lotniczych do wieloaspektowych i zintegrowanych badań: dorobek i perspektywy

| | |
|---|-----|
| Andrzej M. Wyrwa, <i>Zdjęcia lotnicze w tekneńskim kompleksie osadniczym oraz ich weryfikacja archeologiczno-architektoniczna i osadnicza</i> | 271 |
| Krzysztof Maciejewski, Włodzimierz Rączkowski, <i>Jamy, jamy... lecz nie tylko: wyniki archeologicznego rozpoznania lotniczego w Wielkopolsce w latach 2001-2002</i> | 283 |
| Barbara Stolpiak, Włodzimierz Rączkowski, <i>Opactwo pocysterskie w Bierzwniku, woj. zachodniopomorskie a zdjęcia lotnicze – oczekiwania i możliwości</i> | 297 |
| Kazimierz Grażawski, <i>Zdjęcia lotnicze w archeologicznej praktyce badawczej Muzeum w Brodnicy</i> | 311 |
| Dariusz Krasnodębski, <i>Lotnicza prospekcja archeologiczna w dorzeczu Odry, przeprowadzona w 1999 roku</i> | 317 |
| Krzysztof Wieczorek, <i>Widać, nie widać – czy pilot może zostać archeologiem?</i> | 321 |
| Marcin Dziewanowski, Lidia Żuk, <i>Zaległości „nie do odrobienia”?</i> <i>Przyczynek do przydatności zdjęć lotniczych w badaniach terenowych na przykładzie stan. 5 w Mierzynie, woj. zachodniopomorskie</i> | 327 |
| Rafał Gradowski, <i>Fotografia lotnicza w archeologii a problem wczesnośredniowiecznego osadnictwa obronnego na terenie miasta Człuchowa</i> | 337 |
| Miłosz Giersz, Maciej Słomczyński, Mariusz Ziółkowski, <i>Archeologia lotnicza w polskich badaniach archeologicznych w Andach</i> | 341 |
| Violetta Julkowska, Włodzimierz Rączkowski, <i>Zobaczmy przeszłość! Zdjęcia lotnicze w dydaktyce historii</i> | 353 |

Część VII: Zdjęcia lotnicze i krajobraz kulturowy

| | |
|--|-----|
| Wiesław Stępień, <i>Fotografia lotnicza w ochronie krajobrazu kulturowego</i> | 373 |
| Paul M. Barford, <i>Tworzenie krajobrazu: archeologia osadnicza z lotu ptaka?</i> | 379 |
| Grzegorz Kiarszys, <i>Osadnictwo czy krajobraz kulturowy: konsekwencje poznawcze korelacji wyników badań powierzchniowych i rozpoznania lotniczego</i> | 389 |

Część VIII: Jak się to robi w Europie?

| | |
|---|-----|
| Robert Bewley, <i>Archeologia lotnicza – kilka myśli na przyszłość</i> | 399 |
| Rog Palmer, <i>Dlaczego niezbędna jest interpretacja zdjęć lotniczych i wykonywanie map?</i> | 407 |
| Ralf Schwarz, Günter Wetzel, <i>Archeologia lotnicza w Niemczech – z historii badań</i> | 413 |
| Michael Doneus, <i>Archeologia lotnicza w Austrii</i> | 439 |
| Martin Gojda, <i>Archeologia lotnicza w Czechach w końcu XX wieku:</i> <i>integracja studiów nad krajobrazem kulturowym a archeologia nieinwazyjna</i> | 449 |
| Ivan Kuzma, <i>Archeologia lotnicza na Słowacji</i> | 457 |
| Lis Helles Olesen, <i>Archeologia lotnicza w Danii</i> | 479 |
| Romas Jarockis, <i>Fotografia lotnicza, archeologia i dziedzictwo kulturowe na Litwie</i> | 489 |
| Juris Urtāns, <i>Fotografia lotnicza w archeologii na Łotwie</i> | 495 |
| Indeks nazw osobowych | 499 |
| Indeks nazw geograficznych | 507 |
| Lista adresowa autorów | 517 |

Charakterystyka wybranych cech współczesnych średnio- i wysokorozdzielczych danych teledetekcyjnych

1. Wprowadzenie

Ze względu na sposób działania, sensory teledetekcyjne dzieli się na pasywne, czyli rejestrujące odbite promieniowanie elektromagnetyczne, i aktywne, czyli takie, które wysyłają własną wiązkę promieniowania i rejestrują jej odbicie. Do aktywnych sensorów zalicza się urządzenia radarowe i laserowe. Tradycyjne kamery fotograficzne zalicza się do urządzeń pasywnych. Kolejne różnice pomiędzy sensorami dotyczą: wysokości lotu, zakresów, w których rejestrowane jest promieniowanie elektromagnetyczne, rozdzielczości naziemnej uzyskiwanych danych i sposobu ich zapisu. Ogólnie, ze względu na wysokość lotu statków powietrznych, sensory dzieli się na lotnicze (do 35 km) i satelitarne.

Ze względu na szerokość zakresu, w jakim rejestruje się promieniowanie elektromagnetyczne, wyróżnia się sensory szerokopasmowe i wąskopasmowe. Jeżeli obraz jest jednocześnie zapisywany w kilku, kilkunastu bądź kilkudziesięciu zakresach promieniowania, wówczas takie urządzenia określa się mianem wielospektralnych lub hiperspektralnych.

Z punktu widzenia rozdzielczości naziemnej, a więc rzeczywistego rozmiaru najmniejszego elementu zdjęcia, sensory możemy podzielić na wysoko-, średnio- i niskorozdzielcze. W przypadku sensorów umieszczonych na pokładach satelitów rozdzielczość naziemna jest stała, ponieważ wysokość lotu nie ulega zmianie. Rozdzielczość zdjęć wykonanych przez sensor umieszczony na pokładzie samolotu bądź wahadłowca zależy (przy stałej ogniskowej) od wysokości jego lotu. Dane teledetekcyjne są zapisywane najczęściej na filmie fotograficznym lub cyfrowo za pośrednictwem urządzeń wyposażonych najczęściej w czujniki CCD (Charge Coupled Device).

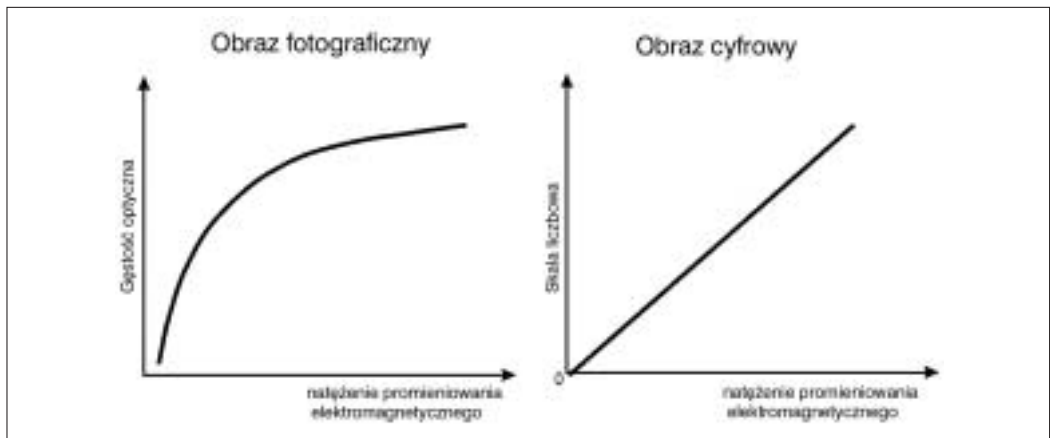
2. Zapis danych w teledetekcji

Do rejestracji danych w tradycyjnej fotografii lotniczej dla celów kartograficznych i interpretacyjnych stosuje się specjalne filmy, których zasadniczym elementem jest jedna (w fotografii czarno-białej) albo dwie lub trzy (w fotografii kolorowej lub spektrostrefowej) halogenosrebrówce warstwy światłoczułe. Warstwa światłoczuła, zwana także emulsją, zbudowana jest z kryształów halogenków srebra, zawieszonych w żelatynie lub innym hydrofilnym związku wielocząsteczkowym (Zaleski, Jabłonka 1992). Halogenki srebra wykazują światłoczułość tylko dla fal elektromagnetycznych krótszych od 500 nm. Poprzez sensybilizację emulsji, uzyskiwaną poprzez dodanie nieznacznych ilości barwników organicznych, zwiększa się jej czułość na promieniowanie o długości fali nawet do 1300 nm (Wójcik 1989). Emulsje światłoczułe są umieszczane na podkładzie wykonanym z trudnotopliwej folii. Tak wykonany materiał światłoczuły nosi nazwę błony fotograficz-

nej. Grubość błony fotograficznej współczesnych filmów lotniczych wynosi około 0,07-0,12 μm . W stosunku do emulsji stosowanych w fotografii artystycznej te stosowane w fotografii lotniczej mają inne rozmiary (przeciętnie film lotniczy posiada 120 m długości, co pozwala na wykonanie 460 zdjęć o wymiarach 23 x 23 cm) oraz znacznie wyższą zdolność rozdzielczą.

Cyfrowy zapis danych polega na pomiarze natężenia światła na pewnej elementarnej powierzchni i zapisie wyniku tego pomiaru w postaci liczby. Pełne zdjęcie zapisane cyfrowo to uporządkowana w linie i wiersze macierz elementarnych elementów zwanych pikselami.

Wymienione dwa sposoby zapisu różnią się przede wszystkim charakterem relacji pomiędzy wartością natężenia promieniowania elektromagnetycznego a gęstością optyczną na negatywie fotograficznym lub wartością liczbową jasności na obrazie cyfrowym. Gęstość optyczna, określająca stopień zaczerwienia na negatywie, związana jest z natężeniem reakcji fotochemicznych. Natężenie tych reakcji zależy w sposób logarytmiczny od ilości energii padającej na błonę fotograficzną, tzn. że jednostkowy przyrost gęstości optycznej nie jest związany prostoliniowo z jednostkowym wzrostem wartości promieniowania elektromagnetycznego. Taki charakter opisywanej relacji powoduje łatwe rozpoznawanie obiektów ciemnych i różniących się nieznacznie wartością odbitego promieniowania oraz utrudnione rozpoznawanie obiektów bardzo jasnych i różniących się niewielką ilością odbitego promieniowania elektromagnetycznego. W przypadku sensorów cyfrowych relacja ta ma charakter prostoliniowy (Lillesand, Kiefer 1994), czyli jednostkowy wzrost wartości energii powoduje jednostkowy przyrost wartości w skali liczbowej (ryc. 1). Taki charakter omawianej relacji pozwala rozpoznawać obiekty z jednakową precyzją niezależnie od wielkości odbitego promieniowania.



Ryc. 1. Sposób zapisu różnicowania promieniowania elektromagnetycznego na fotografii i obrazie cyfrowym.

Obraz w postaci cyfrowej jest zapisywany z większą rozdzielczością radiometryczną (Heier, Hinz 1999; Fricker, Sandau, Walker 1999). Na typowym panchromatycznym filmie lotniczym można zapisać około 180 poziomów szarości, natomiast na odpowiadającym mu obrazie cyfrowym – ponad 4000 poziomów (przy 12-bitowym kodowaniu danych) lub więcej (CCPR 2000). Bezpośredni zapis obrazu w postaci cyfrowej to również obniżenie kosztów, które są związane obróbką fotochemiczną filmu oraz z ewentualnym skanowaniem zdjęć analogowych.

Wspólną cechą fotograficznych i cyfrowych sensorów teledetekcyjnych jest wykorzystywanie układów optycznych o stożkowym polu widzenia. Materiał, z którego zbudowane są soczewki, czyli najczęściej wysokiej jakości szkło, i stożkowe pole widzenia są przyczyną tego, iż strumień światła docierający bezpośrednio do błony filmowej lub prostokątnej matrycy CCD, przechodząc przez układ optyczny, ulega radialnemu osłabieniu w miarę wzrostu odległości od punktu głównego zdjęcia (Lillesand, Kiefer 1994; Wójcik 1989; Furmańczyk 1980; Slater 1975).

Dokładny zapis zmienności promieniowania elektromagnetycznego zależy również od cech materiału, który wykorzystuje się do rejestracji obrazu. Na filmie fotograficznym po procesie wywołania, nawet w obrębie powierzchni jednakowo naświetlonych, obserwuje się fluktuacje wartości gęstości optycznej, co wynika z ziarnistości obrazów fotograficznych (Zaleski, Jabłonka 1992). Poszczególne elementy światłoczułe matrycy CCD wykazują różnice w budowie wewnętrznej struktury krzemu. Jest to przyczyną rejestracji innych wartości sygnału przez poszczególne elementy światłoczułe w momencie jednakowego naświetlenia całej matrycy. W starszych macierzach czujników CCD różnice wprowadzane przez poszczególne elementy, przy jednakowym naświetleniu, osiągały wartość 10% (Watkins, Sadun, Marenka 1995). Postęp technologiczny w sposobie wytwarzania matrycy CCD sprawił, że obecnie różnice te są dużo mniejsze. Zakłócenia wprowadzane przez elementy światłoczułe, zwane szumami, są usuwane w procesie kalibracji.

Czas przechowywania obrazów cyfrowych na nośnikach magnetycznych lub optycznych jest szacowany na około 10-20 lat, natomiast trwałość filmu fotograficznego jest praktycznie nieograniczona (CCPR 2000). Wobec opisanych powyżej niedostatków i ciągłego rozwoju technologii cyfrowej przewiduje się w najbliższych 10-15 latach stosowanie w teledetekcji obu rodzajów kamer, zarówno fotograficznych i cyfrowych (CCPR 2000). Według Grahama i Koha (2001) w niedalekiej przyszłości mało- i średnioformatowe kamery cyfrowe zastąpią całkowicie kamery fotograficzne w badaniach niewielkich obszarów. Obecnie jest to możliwe dzięki szybkiemu wprowadzaniu do powszechnej sprzedaży coraz nowocześniejszych aparatów cyfrowych po przystępnych cenach. Dostępne obecnie na rynku cyfrowe aparaty fotograficzne w cenie 3-5 tysięcy złotych oferują możliwość zapisu obrazu o wielkości 5-6 mln pikseli, a w cenie około 10 tysięcy złotych można zakupić urządzenia umożliwiające zapis obrazu o wielkości 12 mln pikseli. Dostępność tanich urządzeń do cyfrowej rejestracji zdjęć umożliwia ich coraz powszechniejsze stosowanie w fotogrametrii naziemnej i lotniczej.

3. Teledetekcyjne dane satelitarne

Jako najpopularniejsze współcześnie używane sensory satelitarne można wymienić: sensor TM (Thematic Mapper), rejestrujący obraz w siedmiu kanałach spektralnych i umieszczony na pokładzie satelitów Landsat serii 4 i 5 (rozdzielczość naziemna 30 m, w kanale termalnym 120 m), jego następcę – sensor ETM (Enhanced Thematic Mapper) umieszczony na pokładzie satelity Landsat 7 (rozdzielczość naziemna 15 m w kanale panchromatycznym, 30 m w kanałach spektralnych i 60 m w kanale termalnym; obecnie czynny jest satelita z serii 5) oraz sensory HRV (High Resolution Visible), HRVIR (High Resolution Visible Infra Red) i HGR (High Geometric Resolution) zamontowane na satelitach z serii SPOT (obecnie czynne są SPOT 2, SPOT 4 i SPOT 5). Dane uzyskiwane z satelitów SPOT obejmują zdjęcia w kanale panchromatycznym oraz w trzech lub czterech kanałach spektralnych. Umieszczenie dwóch sensorów panchromatycznych pozwala na uzyskiwanie zdjęć stereoskopowych. Rozdzielczość naziemna danych dostarczanych z satelity SPOT zmienia się od 2,5 m do 20 m.

Od 1999 roku coraz większą popularnością, zwłaszcza w kręgach naukowych, cieszą się zdjęcia pozyskiwane z piętnastokanałowego sensora ASTER, umieszczonego na pokładzie satelity Terra. Ich popularność wynika przede wszystkim z bardzo niskiej ceny, kilkukrotnie niższej niż za dane ze SPOT'a czy Landsat'a. Rozdzielczość przestrzenna tych danych zmienia się od 15 m w kanałach obejmujących promieniowanie widzialne, przez 30 m w kanałach podczerwonych do 90 m w kanałach termalnych.

Pod koniec lat 80. i na początku 90. pojawiły się cyfrowe urządzenia hiperspektralne, w których liczba kanałów spektralnych osiągnęła kilkadziesiąt. Każdy piksel obrazu cyfrowego posiada niemal pełną charakterystykę spektralną w zakresie widzialnym, bliskiej i średniej podczerwieni. Na przykład, dane z sensora AVIRIS rejestrowane są w 224 zakresach (Green *et al.* 1998). Do hiperspektralnych urządzeń satelitarnych zalicza się również sensor MODIS, zainstalowany na amerykań-

Tabela 1. Zestawienie danych o ilości kanałów spektralnych i rozdzielczości naziemnej wybranych sensorów teledetekcyjnych.

| Sensor | Ilość kanałów spektralnych | Rozdzielczość naziemna w [m] |
|------------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| MODIS (satelita Terra) | 36 | 250, 500, 1000 |
| MSS (Landsat 1-3) | 4 | 79 |
| TM (Landsat 4-5) | 7 | 30, 120 |
| ETM (Landsat 7) | 8 | 15, 30, 60 |
| ASTER | 14 | 15, 30, 90 |
| HRV (SPOT 1-3) | 4 | 10, 20 |
| CORONA | 1 | 7 |
| HRG (SPOT 5) | 5 | 2,5 lub 5, 10, 20 |
| IKONOS | 4 | 1, 4 |
| KH-12 | 1 | 0,1 |
| Nowoczesna cyfrowa kamera lotnicza | 4 | 0,01 |

przykłady współczesnych wysokorozdzielczych satelitarnych urządzeń fotograficznych można podać rosyjskie kamery TK-350, KVR-1000 i KVR-3000. Obraz fotograficzny z wymienionych dwóch ostatnich kamer po zeskanowaniu ma rozdzielczość naziemną 2 m (Petrle 2002). Panchromatyczne wysokorozdzielcze zdjęcia satelitarne, rejestrowane cyfrowo, uzyskiwane z IKONOS'a posiadają rozdzielczość 1 m w punkcie podsatelitarnym, natomiast obrazy Quick Bird'a – 2-0,61 m. Sensory umieszczone na pokładach tych satelitów rejestrują również odbite promieniowanie elektromagnetyczne w trzech kanałach spektralnych obejmujących zakres widzialny z rozdzielczością naziemną 4 m w przypadku IKONOS'a i 2,4 m dla obrazów z Quick Bird'a. W najbliższych latach wzrost dokładności cywilnych danych teledetekcyjnych będzie ciągle postępował. Dla porównania, rozdzielczość naziemna obrazów wykonywanych przez wojskowe sensory amerykańskie z serii KH-12 osiąga 10 cm (Pike 2000; Petrle 2002).

4. Dane pozyskiwane z pułapu lotniczego

Wśród zobrażeń wykonywanych z pułapu lotniczego nadal najpopularniejsze są zdjęcia wykonane za pomocą fotogrametrycznych kamer fotograficznych, które w stosunku do cywilnych zobrażeń satelitarnych nadal oferują wyższą rozdzielczość przestrzenną. Rozdzielczość obrazów fotograficznych zależy od zdolności rozdzielczej zarówno błony filmowej, jak i układu optycznego kamery. Zdolność rozdzielcza filmów fotograficznych związana jest z czułością filmu i kontrastem pomiędzy obiektami położonymi na powierzchni Ziemi. Im wyższa czułość, tym niższa zdolność rozdzielcza. Im większy kontrast pomiędzy obiektami, tym dokładniej zostaną one zarejestrowane. Przeciętna zdolność rozdzielcza typowych niskokontrastowych (bo takich się najczęściej używa) filmów lotniczych waha się od 100 do 150 par linii w milimetrze, co odpowiada rozdzielczości od 7500 do 11500 dpi¹. Zdolność rozdzielcza obiektywów kamer lotniczych RC30 i RMK TOP, dwóch najnowocześniejszych obecnie fotogrametrycznych kamer lotniczych, wynosi około 100 par linii w milimetrze. W wymaganiach technicznych, obowiązujących w USA, dla kamer z ogniskową 153 mm, przyjmuje się, że średnia zdolność rozdzielcza w ramach całej klatki zdjęcia powinna wy-

¹ Na podstawie dokumentacji technicznych filmów lotniczych firm KODAK i AGFA, dostępnych w Internecie na rok 2002.

kańskim satelicie Terra. Sensory hiper-spektralne umieszczone na pokładach satelitów cechują się przeważnie niską rozdzielczością naziemną. Dane uzyskiwane z sensora MODIS charakteryzują się rozdzielczością wynoszącą zależnie od zakresu spektralnego od 250 m, przez 500 m do 1000 m. Dla urządzeń przystosowanych do wykonywania takich zobrażeń z pułapu lotniczego rozdzielczość naziemna jest wyższa, i tak: niemieckie urządzenie DAIS7915 przy 79 kanałach spektralnych pozwala uzyskać rozdzielczość 5 m, a ROSIS oferuje maksymalną rozdzielczość 1 m (Hysens 2001).

W ostatnich latach jednym z najważniejszych celów rozwoju sensorów satelitarnych było osiągnięcie rozdzielczości naziemnej porównywalnej z rozdzielczością zdjęć lotniczych (por. Tabela 1). Jako

nosić średnio 65 par linii w milimetrze (USGS Aerial Camera Acceptance Specifications For 153-mm Focal Length), co odpowiada rozdzielczości skanowania około 5000 dpi (punktów na cal). Możliwości skanerów wykorzystywanych do uzyskania postaci cyfrowej z negatywów są wyższe. Skaner fotogrametryczny LH Systems DSW500 posiada rozdzielczość optyczną wynoszącą 7500 dpi (Dam *et al.* 2000). Zatem zeskanowany negatyw zdjęcia lotniczego o rozmiarach 23 cm na 23 cm z rozdzielczością 5000 dpi, posiada potencjalnie wymiar 45000 x 45000 pikseli. Zdjęcia lotnicze, wykonane najnowocześniejszymi aktualnie kamerami fotograficznymi RC-30 lub RMK TOP 30 i przy odpowiedniej wysokości i prędkości lotu samolotu, osiągają rozdzielczość naziemną 0,5-1,0 cm (Adler, Koch 1999; Heier 2001). Heier (2001) podaje, że za pomocą kamery cyfrowej DMC 2001 osiągnięto rozdzielczość naziemną równą 2,5 cm.

Rejestracja obrazu w kamerach cyfrowych odbywa się w dwojaki sposób: za pomocą liniowej lub prostokątnej macierzy CCD. Zapisując obraz kamerą wyposażoną w macierz liniową uzyskuje się ciągły pas obrazu. Ten sposób rejestracji wyklucza stosowanie tradycyjnego oprogramowania fotogrametrycznego, a zapis obrazu linia po linii ogranicza stosowanie szerokiego zakresu czasów naświetlenia i wyklucza wykorzystanie techniki kompensacji FMC (Forward Motion Compensation) do korekcji zmasu obrazu (Kasser, Egels 2002; Heier 2001). Zmas obrazu powstaje wskutek różnicy prędkości pomiędzy przesuwającym się w kadrze obrazem powierzchni Ziemi a nieruchomym elementem rejestrującym obraz. W kamerach LH Systems ADS-40 i DPA macierz liniowa ma szerokość 12000 pikseli (Fricker, Sandau, Walker 1999; Beutner, Jacobsen, Wegmann 1999). Obrazy uzyskiwane za pomocą macierzy prostokątnych CCD odpowiadają kształtem zdjęciom fotograficznym, co umożliwia ich przetworzenie za pomocą standardowego oprogramowania fotogrametrycznego. Obraz z cyfrowej kamery Z/I Imaging DMC 2001 rejestrowany jest przez cztery oddzielne macierze i ma łączny wymiar 8000 na 14000, czyli 112 mln pikseli (Kasser, Egels 2002). Inna kamera cyfrowa firmy Vexcel, Ultra Cam-D, posiada osiem matryc, które pozwalają uzyskać obraz światłoczuły o wymiarach 11500x7500, czyli łącznie 86,25 mln pikseli. Wymiar elementów światłoczułych stosowanych w omawianych kamerach cyfrowych wynosi obecnie od 12 do 14 μm , co odpowiada rozdzielczości 2500 dpi.

Stosowane obecnie kamery fotograficzne pozwalają uzyskać obraz złożony z większej liczby pikseli niż obrazy z kamer cyfrowych. Przy założonej rozdzielczości naziemnej pikseli pozwala to w krótszym czasie wykonać kamerą fotograficzną zobrazowanie określonego fragmentu powierzchni Ziemi niż kamerą cyfrową. Bezpośrednie pozyskanie danych w postaci cyfrowej eliminuje koszty związane z zakupem filmu fotograficznego, jego obróbką fotochemiczną i skanowaniem. Jest ono również korzystne z punktu widzenia zastosowań operacyjnych, takich jak np. monitoring skutków klęsk żywiołowych, ze względu na krótszy czas potrzebny na dostarczenie gotowego zobrazowania. Obrazy kamerami cyfrowymi można wykonywać w gorszych warunkach pogodowych w porównaniu z klasyczną fotografią, np. lecąc bezpośrednio pod chmurami. Rozwój technologii cyfrowej w najbliższych latach, stosowanej w wysokorozdzielczych kamerach pomiarowych, będzie dotyczył przede wszystkim wzrostu rozdzielczości uzyskiwanych obrazów, zastosowania prostokątnych macierzy CCD o większej ilości pikseli i zwiększenia możliwości zapisu wielospektralnego (Heier 2001).

5. Dostępność danych teledetekcyjnych w Internecie

W ostatnich kilku latach dane teledetekcyjne stały się bardziej dostępne. Wynika to ze wzrostu liczby dostawców i dystrybutorów obrazów satelitarnych, zwiększenia rozdzielczości naziemnej, obniżenia cen obrazów archiwalnych oraz rozwoju Internetu, poprzez który można przeglądać i zamówić zgromadzone dane lub bezpośrednio je ściągnąć na własny komputer. W USA przez Internet, bezpłatnie i odpłatnie, dostępne są na wielu serwerach internetowych instytucji rządowych lub firm prywatnych (np. www.terraserver.com) zdjęcia lotnicze lub satelitarne z wysoką rozdzielczością naziemną: 1-2 m dla wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych i archiwalnych zdjęć lot-

nicznych oraz 0,3 m dla najnowszych zdjęć lotniczych. Na stronach dostawców zdjęć satelitarnych o wysokiej rozdzielczości, najczęściej jako bezpłatne, umieszczane są wycinki zdjęć niewielkich obszarów, które są atrakcyjne turystycznie czy też z powodu spektakularnych zdarzeń (np. zdjęcia World Trade Center po zamach terrorystycznych 11 września 2001). W Polsce, w Urzędzie Głównego Geodety Kraju, jest realizowany projekt, którego celem jest udostępnienie skatalogowanych zdjęć lotniczych i ortofotomap w SZDF (System Zarządzania Danymi Fotogrametrycznymi), przygotowywanych głównie pod kątem systemu AIACS. Wszystkie dane można przeglądać i zakupić bezpośrednio przez Internet (<http://217.153.152.210/szdf>). Rozdzielczość naziemna tych zdjęć ma osiągnąć 1 metr. Zasób obejmuje przede wszystkim aktualne dane pozyskiwane w latach 2002-2003 i są to przede wszystkim zdjęcia lotnicze w skali 1:13000. Rozdzielczość naziemna tych danych wynosi w zależności od rodzaju produktu od 0,25 m do 1 m. W zasobie zgromadzono również zdjęcia wykonane w ramach programu PHARE oraz dane z satelity IKONOS.

Najwięcej dostępnych bezpłatnie zdjęć satelitarnych to dane z satelitów serii Landsat. Zdjęcia z tego satelity dostępne są w kompletnej postaci, a więc pełnowymiarowych scen wielospektralnych. Można je ściągnąć z Internetu pod adresem <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>. Jest to strona zamieszczona na serwerze Instytutu Zaawansowanych Studiów Komputerowych Uniwersytetu Maryland, na której udostępniane są zdjęcia Landsat'a w ramach projektu Global Land Cover Facility – GLCF. Celem tego projektu jest analizowanie zmian pokrycia terenu w skali całego globu. Jednym z realizowanych zadań w ramach tego projektu, finansowanego głównie ze środków agencji rządowych USA, jest udostępnianie danych satelitarnych przez Internet wszystkim zainteresowanym osobom i instytucjom. Poprzez Internet są udostępniane dane z całego świata i są to dane z Landsat'a (MSS, TM, ETM+), MODIS'a, NOAA AVHRR i SRTM (dane wysokościowe o rozdzielczości 90 metrów, uzyskane na podstawie obrazów radarowych). Obrazy Landsat'a są najczęściej udostępnione w standardowym formacie GEOTIFF. Poniżej, w Tabeli 2 zamieszczono zestawienie dostępnych na tym serwerze danych z Landsat'a, pokrywających obszar Wielkopolskiego Parku Narodowego.

Tabela 2. Zestawienie danych satelitarnych udostępnionych w Internecie w ramach projektu GLCF.

| Numeracja GLCF | Ścieżka/Wiersz | Data | Rodzaj sensora | Kanały | Rozdzielczość naziemna |
|-----------------------------------|----------------|------------|----------------|--------|------------------------|
| Wielkopolski Park Narodowy | | | | | |
| 021-157 | 205/023 | 09.05.1976 | MSS | 4 | 80 |
| 031-267 | 205/024 | 30.05.1979 | MSS | 4 | 80 |
| 021-167 | 206/023 | 31.05.1979 | MSS | 4 | 80 |
| 018-396 | 191/023 | 28.07.1990 | TM | 7 | 30/120 |
| 018-397 | 191/024 | 29.08.1990 | TM | 7 | 30/120 |
| 018-384 | 190/024 | 26.09.1991 | TM | 7 | 30/120 |
| 036-380 | 191/023 | 13.06.2000 | ETM+ | 8 | 15/30/60 |
| 036-342 | 190/024 | 24.05.2001 | ETM+ | 8 | 15/30/60 |
| 034-497 | 190/024 | 23.06.2003 | TM | 7 | 30/120 |

Oprócz wspomnianych danych wielospektralnych udostępniane są mozaiki w postaci kolorowych kompozycji barwnych (z obszaru Polski nie są one dostępne na stronie projektu GLCF). Mozaiki z obszaru naszego kraju są dostępne na stronie Centrum Kosmicznego im. Johna C. Stennisa, należącego do NASA, pod adresem internetowym: <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl>. Dostępne na tej stronie dane pochodzą z roku 1990, w niedalekiej przyszłości natomiast strona zostanie uaktualniona o dane z 2000 roku. Dane publikowane są w formacie MRSID i aby można było prze-

glądać obrazy, należy posiadać przeglądarkę obsługującą ten format. Dokładność obrazów Landsat'a odpowiada mapom w skali 1:100000.

Pierwszym projektem kosmicznym, dotyczącym rozpoznania wojskowego był amerykański projekt CORONA. W przestrzeni okołoziemskiej umieszczono kilkanaście satelitów w latach 1960-1972. Łącznie wykonano ponad 800 000 zdjęć. W roku 1995 roku podjęto decyzję o odtajnieniu wszystkich danych w ramach projektu CORONA. Jedną z konsekwencji tej decyzji jest dostępność w Internecie zdjęć czarno-białych z rozdzielczością około 7-10 m dla niemal całego świata. Dane dostępne są pod adresem: http://geoengine.nga.mil/geospatial/SW_TOOLS/NIMAMUSE/webinter/rast_roam.html. Zdjęcia udostępnione w Internecie z obszaru Polski zostały wykonane w drugiej połowie lat 80. Pomiędzy poszczególnymi zdjęciami występują niekiedy luki.

6. Zdjęcie lotnicze czy obraz satelitarny

Dane o średniej rozdzielczości nie zawsze posiadają rozdzielczość naziemną potrzebną do realizacji określonego celu. W związku z tym zachodzi konieczność zakupienia danych o wyższej rozdzielczości naziemnej. W ostatnich latach rozdzielczość zdjęć satelitarnych wzrosła na tyle, że w wielu wypadkach mogą one stanowić alternatywę dla zdjęć lotniczych, a zwłaszcza wtedy, kiedy rozdzielczość 1 m jest wystarczająca do rozpoznania obiektów będących przedmiotem zainteresowania. Rozdzielczość naziemna 1 m satelitarnego zdjęcia cyfrowego (najczęściej jest to zakres panchromatyczny) odpowiada z dużym przybliżeniem zdjęciom lotniczym wykonanym w tradycyjny sposób w skali 1:25000 i doprowadzonym do postaci cyfrowej poprzez skanowanie z dokładnością 645 dpi lub zdjęciom lotniczym wykonanym w skali 1:10000 zeskanowanym z rozdzielczością 254 dpi. Należy tu podkreślić, że zdjęcie lotnicze w przytoczonej powyżej skali 1:25000 można powiększyć optycznie 10-krotnie, innymi słowy, stosując wymienione powyżej rozdzielczości skanowania, nie wykorzystuje się pełnej pojemności informacyjnej zawartej na negatywach zdjęć.

Najważniejszym jednak argumentem przy zakupie danych teledetekcyjnych pozostają ciągle koszty, zwłaszcza danych satelitarnych. Wymiernym wskaźnikiem umożliwiającym porównanie kosztów pozyskania danych satelitarnych jest cena jednego kilometra kwadratowego. Według aktualnego na kwiecień 2004 roku cennika zdjęć satelitarnych IKONOS, za 1 km² należy zapłacić od 60 do 360 złotych, w zależności od dokładności geometrycznej produktu końcowego. Z kolei za 1 km² obfotografowany na zdjęciu lotniczym, zakupionym w Centralnym Ośrodku Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (w tym również z SZDF) zapłacimy maksymalnie 3 złote 50 groszy.

Podkreślenia wymaga fakt, iż ze względu na wyższą rozdzielczość naziemną dokładność modeli stereoskopowych wykonywanych ze zdjęć lotniczych jest dużo wyższa niż ze zdjęć satelitarnych.

Bibliografia

- Adler P., Koch B. 1999. *Digital Photogrammetry for Forest Ecosystems Monitoring. Materiały Konferencji Naukowej: „Remote Sensing and Forest Monitoring”, 1-2.06.1999. Rogów, Polska.* Adres internetowy: http://rogow99.sggw.waw.pl/08_session_4/10/.
- Beutner S., Jacobsen K., Wegmann H. 1999. *Topographic Information System by Satellite and Digital Airborne Images, [w:] Joint Workshop of ISPRS WG I/1, I/3 and IV/4 „Sensors and Mapping from Space 1999”. Hanover, September 27-30.* Adres internetowy: <http://www.ipi.uni-hannover.de/html/publikationen/1999/isprs-workshop/>.
- CCPR 2000. *Camera Calibration Panel Report 2000.* Adres internetowy: http://www.asprs.org/asprs/news/archive/final_report.html.
- Dam A. L., Miller S. B., Nagle G. A., Walker A. S. 2000. *Photogrammetric Scannic Innovation in the LH Systems DSW500, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing 33(B2): 119-124.*

- Fricker P., Sandau R., Walker A. S. 1999. Airborne digital sensors – a new approach, [w:] *Joint Workshop of ISPRS WG I/1, I/3 and IV/4 „Sensors and Mapping from Space 1999”*. Hanover, September 27-30. Adres internetowy: <http://www.ipi.uni-hannover.de/html/publikationen/1999/isprs-workshop/>
- Furmańczyk K. 1980. *Zarys fotointerpretacji*. Gdańsk: Uniwersytet Gdański.
- Graham R., Koh A. 2001. Training for aerial survey and mapping, *GeoEurope Magazine* **11**. Adres internetowy: <http://www.geoplace.com/ge/2001/0111/0111trn.asp>.
- Green R. O., Eastwood M. L., Sarture C. M., Chrien T. G., Aronsson M., Chippendale B. J., Faust J. A., Pavri B. E., Chovit C. J., Solis M., Olah M. R., Williams O. 1998. Imaging Spectroscopy and the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS), *Remote Sensing of Environment* **65**: 227-248.
- Heier H. 2001. *Deploying DMC in today's workflow*. Adres internetowy: <http://www.ziimaging.com/News/OtherDocs/Heier.pdf>.
- Heier H., Hinz A. 1999. A Digital airborne camera system for photogrammetry and thematic application, [w:] *Joint Workshop of ISPRS WG I/1, I/3 and IV/4 „Sensors and Mapping from Space 1999”*. Hanover, September 27-30. Adres internetowy: <http://www.ipi.uni-hannover.de/html/publikationen/1999/isprs-workshop>.
- Hysens 2001. *Hysens DAIS/ROSIS Imaging Spectrometers at DLR 2001*. Adres internetowy: <http://www.op.dlr.de/dais/dais.htm>.
- Kasser M., Egels Y. 2002. *Digital Photogrammetry*. London, New York: Taylor & Francis.
- Lillesand T. M., Kiefer R. W. 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Petrle G. 2002. Optical Imagery from Airborne & Spaceborn Platforms, *GeoInformatics* **1-2**. Adres internetowy: <http://www.geoinformatics.com/>.
- Pike J. 2000. *KH12 Improved Crystal Product*. Adres internetowy: <http://www.fas.org/spp/military/program/imint/kh-12.htm>.
- Slater P. N. 1975. Photographic Systems for Remote Sensing, [w:] *Manual of Remote Sensing*. Falls Church, Virginia: American Society of Photogrammetry, 235-324.
- USGS *Aerial Camera Acceptance Specifications For 153-mm Focal Length*. Adres internetowy: <http://mac.usgs.gov/mac/tsb/osl/sixspecs.html>.
- Watkins C. D., Sadun A., Marenka S. 1995. *Nowoczesne metody przetwarzania obrazu*. Warszawa: WNT.
- Wójcik S. 1989. *Zdjęcia lotnicze*. Warszawa: PPWK.
- Zaleski A., Jabłonka S. 1992. Detektory chemiczne, [w:] *Informacja obrazowa*, (red.) M. Ostrowski. Warszawa: WNT, 265-337.

Sławomir Królewicz

Characteristics of some modern middle- and high-resolution remote sensing data

Summary

In this article some chosen features of satellite and aerial sensors have been characterized. The first part of the text presents the differences between two ways of image recording used in remote sensing: traditional photographic film and digital recording with the CCD matrix. The following two parts describes the current remote sensing data, particularly two features of this data: spatial resolution and spectral resolution. At the end are some Internet web pages where free data can be found.

Captions:

Fig. 1. Photographic and digital registration of differences in electromagnetic radiation.

Table 1. Data of channels and distribution of air-borne remote sensors.

Table 2. Satellite data made available on the Internet as part of the GLCF project.