

Analiza pojemności informacyjnej i przydatności obrazów satelitarnych programu CORONA do badań stanu środowiska przyrodniczego Polski i jego zmian*

Analysis of CORONA satellite imagery informational capacity and usefulness for environmental research of Poland

Krzysztof SKOCKI

This article is focused on using the CORONA satellite imagery for environmental and geographical research. CORONA project, started in 1960, was a US military reconnaissance satellite project designed to achieve imagery for strategic missile control. CORONA program has finished in 1972. In 1995 CORONA imagery was declassified and now is easily accessible at low cost. This article investigate the ability of using CORONA imagery in some historical or multitemporal projects as a new source of image information. The quality and informational capacity was investigated. The results suggests the CORONA satellite imagery can be used in multitemporal geographical, ecological, hydrological, geomorphological and environmental investigations. The high geometric resolution, exceeded 10 m, allow

to use the data to high scale investigations. Also the large area captured on one negative (approx. 25 ´ 200 km) can be very helpful. For example, an area of half Poland territory can be imaged sometimes from just one CORONA orbit.

The border region investigations are often difficult, because of no high resolution historical imagery data available. CORONA imagery provides unique, high geometrical resolution imagery of both sides of the border in one time and in one quality.

Summarizing, CORONA satellite imagery is the new source of high quality, high resolution, easy accessible historical satellite data for different investigations.

Wstęp

Współczesna teledetekcja posługuje się różnorodnymi danymi obrazowymi w zakresie widzialnym i podczerwieni. Od czasu wprowadzenia satelity Landsat-1 na orbitę w 1972 roku istnieje dostęp do zobrażeń satelitarnych: panchromatycznych i wielospektralnych (Ciołkosz, 1989). Rozwój teledetekcji satelitarnej doprowadził do dzisiejszego stanu, gdy do dyspozycji stoją satelity dostarczające różnorodnych danych, zarówno tych wysokorozdzielczych, panchromatycznych (obecnie np. IKONOS i QuickBird) dostarczających obrazy w rozdzielczościach metrowych jak

i wiele satelitów dostarczających obrazów wielospektralnych, jak chociażby Landsat 5, Landsat 7, Terra, SPOT, IRS itp. Dane teledetekcyjne wykorzystuje się do opracowań zarówno bieżących jak i historycznych (Ciołkosz, 1999). W drugim z przytoczonych zastosowań odczuwa się jednakże niedobór starych, historycznych, zobrażeń o odpowiedniej jakości, pozwalających na zestawianie z danymi młodszymi w celu różnorodnych porównań i analiz. Nieznane dotąd szerszemu gronu naukowców materiały obrazowe amerykańskiego satelitarnego programu wywiadu wojskowego CORONA mogą zapełnić tę istniejącą i dotkliwą lukę. Praca niniejsza ma na celu przybliżyć nieco założenia

* Artykuł jest wynikiem realizacji projektu badawczego nr 8 T12E 013 21 wykonanego w Instytucie Geodezji i Kartografii w Warszawie w latach 2001–2002.

programu, uzyskiwane w nim materiały i określić zakres badań teledetekcyjnych, w których mogą znaleźć zastosowanie.

Tło geopolityczne

Schyłkowe lata drugiej wojny światowej przyniosły radykalną zmianę myślenia kategoriami wojsko-politycznymi. Stało się to za sprawą wprowadzenia do arsenałów mocarstw broni jądrowej. Powojenne zaostreżenie stosunków między ZSRR i państwami zachodnimi spowodowało ustalenie się bardzo chwilowej równowagi między mocarstwami. Konieczne stało się posiadanie informacji o sile strony przeciwnej, czyli, myśląc kategoriami czasów Zimnej Wojny, strategicznym potencjale jądrowym przeciwnika. Dotychczasowe sposoby zdobywania informacji wywiadowczych okazały się niewystarczające: typowe działania wywiadowcze jak też rozpoznanie lotnicze nie mogły dostarczyć dużej ilości wiarygodnych informacji w wystarczająco krótkim czasie. Dlatego w połowie lat 50. XX wieku rozpoczęto prace nad systemem rozpoznania satelitarnego na potrzeby wojskowe. Trzeba pamiętać, że próby prowadzono prawie równoległe z pracami nad wyrzuceniem pierwszego satelity na orbitę (w 1957 roku). Mimo wielu porażek w pierwszych latach (osiem nieudanych misji w latach 1959–1960) i groźby anulowania projektu z powodu braku postępów doprowadzono do jego ukończenia. Misja Discoverer XIII w dniu 12 sierpnia 1960 roku, nieco ponad 3 miesiące po zestrzeleniu w locie szpiegowskim nad ZSRR samolotu U-2, zakończyła się sukcesem — sprowadzono z orbity zasobnik powrotny satelity. Już 18 sierpnia kolejna misja, Discoverer XIV, dostarczyła na Ziemię naświetlony film w zasobniku powrotnym. Ta jedna misja, dzięki sfotografowaniu obszaru prawie 6 mln km², dostarczyła więcej satelitarnych danych obrazowych niż wszystkie dotychczasowe loty samolotów U-2 nad ZSRR. Rozpoczęła się era fotograficznego rozpoznania satelitarnego.

Cel badań

Celem badań było określenie przydatności zdjęć wykonanych w czasie trwania programu CORONA do różnorodnych badań środowiska geograficznego Polski, jego komponentów oraz badań zmian środowiska. Oceniona miała być też jakość zdjęć pod względem technicznym i informacyjnym oraz ich pojemność informacyjna. Założono wykonanie oceny wyróżnialności różnorodnych elementów środowiska dla trzech obszarów testowych, która to ocena pozwoli na sformułowanie wniosków dotyczących przydatności obrazów programu CORONA do cywilnych badań naukowych oraz wskaże ograniczenia oraz obszary problemowe. Całość miała zostać zilustrowana przykładami zastosowania zdjęć programu CORONA w wybranych rodzajach badań środowiska geograficznego Polski.

Dotychczasowe prace

Program CORONA został odtajniony (dotychczasowa klauzula: ściśle tajne specjalnego znaczenia) na mocy ustawy wydanej przez prezydenta USA Billa Clintona 22 lutego 1995 roku. Szerokiej publiczności udostępnione zostały zasoby zdjęciowe wykonane w czasie programu CORONA oraz wybrane dane o systemie i jego funkcjonowaniu (część danych pozostaje nadal tajna). Pierwsze opublikowane artykuły i książki pochodzą od autorów związanych z przygotowaniem do udostępnienia danych programu CORONA. Wszyscy autorzy wymienieni są w literaturze. Publikacje dotyczą praktycznie tylko charakterystyki programu CORONA, niewiele jest publikacji z badań, w których wykorzystano materiały programu CORONA jako materiały źródłowe. Wyróżnia się tutaj krótka publikacja autorów niemieckich (Kaufmann, 1997) z badań nad przydatnością zdjęć programu CORONA do różnorodnych badań geograficznych. Jest to jednak publikacja bardzo skrótowa, nie przynosząca konkretnych danych i podbudowanych wynikami badań wniosków. Ciekawą acz krótką analizę możliwości skanowania materiałów programu CORONA przedstawili także autorzy amerykańscy (Leachtauer, 1998).

Charakterystyka programu

Program CORONA to wojskowy program satelitarnego rozpoznania strategicznego armii USA realizowany w latach 1960–1972 (Gavaghan, 1998). Miał na celu uzyskanie dużej ilości wiarygodnych i dokładnych informacji obrazowych, przede wszystkim o potencjale jądrowym ZSRR oraz potencjale wojskowym państw Układu Warszawskiego i innych państw istotnych dla polityki USA (Lashmar, 2000). Program CORONA był elementem szerszego programu TALENT-KEYHOLE, w którym oprócz programu CORONA realizowano także programy ARGON oraz LANYARD (Jackson, 1998). Oba programy ze względu na nieco inne cele nie wchodziły jednak w zakres zainteresowania tej pracy.

Najważniejszym komponentem programu był komponent satelitarny w postaci satelity rozpoznawczego wynoszonego na niską orbitę za pomocą rakiety Thor-Agena. Satelity należały do kilku kolejnych generacji, w których wprowadzano modyfikacje zwiększające ich możliwości (Corona..., 1998). Wszystkie satelity posiadały jedną lub dwie kamery panoramiczne rejestrujące na specjalnym filmie fotograficznym produkcji firmy Kodak pas terenu szerokości 6° (wzdłuż orbity). Kamery wykonywały ruch wahadłowy odchylając się od pozycji nadiowej o 35° w każdą stronę (Peebles, 1997). Pokrycie poprzeczne obejmowało zatem całkowity kąt 70°. Pozwalało to na zarejestrowanie na jednej „klatce” filmu pasa terenu o wymiarach około 25 na 200 km (Gaffney, 1998). Naświetlony materiał był „zrzucany” na Ziemię w specjalnych zasobnikach, które były przechwytywane w locie przez specjalnie przystosowany samolot (Lindgren, 1998).

Można wyróżnić następujące generacje satelitów (nazwa kodowa Key Hole — „dziurka od klucza”) programu CORONA (Day, 1998; McDonald, 1997).

KH-1: pierwsza generacja satelitów wyposażonych w pojedynczą panoramiczną kamerę obrazową firmy Fairchild Corporation. Płaszczyzna ruchu wahadłowego kamery położona była prostopadle do toru lotu satelity. Satelity umieszczano na orbitach eliptycznych o wysokości nominalnej 160–460 km. Wykorzystywano obiektyw Tessar $f/5,0$ o ogniskowej 24 in (609,6 mm). Zastosowany układ optyczny o rozdzielczości 50–100 par linii na mm oraz materiały negatywowe Kodak (podłoże acetatowe) pozwalały na uzyskiwanie rozdzielczości terenowej rzędu 10–15 m. Pozwalało to na analizy dużych obiektów wojskowych takich jak lotniska czy bazy rakiet strategicznych. Wykonano 10 misji KH-1, z których za udaną uznano tylko jedną.

KH-2: druga generacja satelitów programu CORONA był niewielką modyfikacją satelitów pierwszych serii. Zastosowano taką samą kamerę, zmieniono natomiast system kompensacji ruchu satelity: wykorzystano zmienną prędkość kompensacji. Wykorzystano także specjalnie opracowany dla programu CORONA film negatywowo Kodak na podłożu poliestrowym. Pozwoliło to zwiększyć nieco rozdzielczość terenową zdjęć. Przeprowadzono 3 udane misje KH-2 w ogólnej liczbie 11 misji przeprowadzonych.

KH-3: w tej generacji nastąpiły duże zmiany w konstrukcji satelitów. Wykorzystano kamerę produkcji Itek Corporation o optyce Petzval $f/3,5$ i ogniskowej 609,6 mm. Poprawiono znacznie jakość obiektywów zwiększając rozdzielczość do 280 par linii na mm. Zdjęcia cechowały się wysoką jakością i rozdzielczością terenową sięgającą 5 metrów. Przeprowadzono 9 misji KH-3, z których 5 zakończyło się sukcesem.

KH-4: Satelity tej generacji cechowały się nową koncepcją wykonywania zdjęć. Zastosowano dwie jednakowe kamery Itek odchylone od pionu o 15° w przód i w tył. Pozwoliło to na wykonywanie analiz stereoskopowych znacznie ułatwiających interpretację zdjęć oraz dostarczających danych o ukształtowaniu terenu. Przeprowadzono 26 misji KH-4, z których za udane uznano 20.

KH-4A: modernizacja satelity serii KH-4 polegająca na dodaniu drugiego zasobnika z filmem. Pozwoliło to znacznie zwiększyć liczbę zdjęć wykonywanych przez satelitę oraz umożliwiło szybkie ściąganie zasobnika z filmem po naświetleniu połowy filmu znajdującego się na pokładzie satelity. Rozdzielczość terenowa zdjęć wykonanych w tych misjach sięgała 3 metrów, pozwalając nie tylko na szczegółowe rozpoznanie instalacji wojskowych lecz również na rozpoznanie typów sprzętu wojskowego oraz na wykonanie bardzo szczegółowych map obszarów zurbanizowanych. Warto zwrócić uwagę na niezawodność satelitów tej generacji: na 52 przeprowadzone misje tylko 4 zakończyły się porażką. Satelity serii KH-4A stały się środkiem rutynowego zdobywania obrazowych materiałów rozpoznawczych.

KH-4B: kolejna modyfikacja udanej serii KH-4 przyniosła kolejne zwiększenie rozdzielczości terenowej. Zastosowanie ulepszonej optyki oraz nowych materiałów negatywowych firmy Kodak, specjalnie przygotowywanych do programu CORONA pozwoliły na osiągnięcie rozdzielczości terenowej nawet poniżej 2 m. Zdjęcia wykonywano z orbit o wysokości ok. 150 km, a więc bardzo niskich. Możliwe było wykonywanie 40-krotnych powiększeń fotograficznych wybranych obszarów, co dawało maksymalne skale zdjęć sięgające 1:7500. Wykonano 17 misji, z których 16 zakończyło się sukcesem.

W sumie w latach 1960–1972 przeprowadzono 144 misje programu CORONA, z których 102 zakończyły się sukcesem. Łącznie w całym programie TALENT-KEYHOLE wykonano około 860 tysięcy zdjęć (z tego większość w programie CORONA) o powierzchni łącznej ponad 1,6 mld km^2 (Day, 1998).

Wybór zdjęć i obszarów badawczych

Pierwszym etapem projektu był dobór zdjęć. Zdjęcia programu CORONA są udostępniane w postaci negatywów wtórnych, diapozytywów lub odbitek papierowych. Starano się, aby przy ograniczonej liczbie zdjęć uzyskać możliwość oceny różnych generacji zdjęć, różnych obszarów i różnych terminów wykonania zdjęć. Wymagało to przeanalizowania wielu dostępnych zdjęć i wyboru kilku najbardziej przydatnych do badań. Do celów niniejszego projektu zamówiono negatywy wtórne obejmujące obszary Polski północno-wschodniej (okolice Biebrzańskich) oraz Polski centralnej (okolice Warszawy). W ten sposób otrzymano możliwość prowadzenia badań i ocen dla różnego rodzaju środowisk typowych dla obszaru Polski (poza terenami nadmorskimi i górskimi oraz silnie zurbanizowanymi). Okolice Bagien Biebrzańskich w latach 60. XX wieku charakteryzowały się dużym udziałem krajobrazów naturalnych i seminaturalnych. Występuje tu duża różnorodność obszarów wilgotnych, gospodarka rolna i leśna ma charakter tradycyjny. Brak jest wpływu przemysłu i transportu. Struktura osadnicza obejmuje zarówno tradycyjne wsie i przysiółki jak też typowe, miasteczka, będące lokalnymi centrami (Kondracki, 1994). Z kolei okolice Warszawy to obszar wpływów miasta, który w początku lat 60. XX wieku został znacząco zmieniony w związku z budową Zbiornika Zegrzyńskiego. Istnieje tu stosunkowo rozwinięta sieć komunikacyjna, sieć osadnicza jest bardziej nowoczesna, istnieje przemysł. Istotne jest uchwycenie zmian związanych z zalaniem dużych obszarów łąkowych i nasilającym się wpływem urządzeń rekreacyjnych. Wykorzystano także częściowo inny obszar na północ od Warszawy (ujście Narwi do Wisły). Jest to rejon oddziaływania miasta. Obszar jest zagospodarowany stosunkowo „nowocześnie”, istnieje rozbudowana sieć transportowa i osadnicza, istnieje przemysł, obiekty o charakterze wojskowym, lotnisko (Kondracki, 1994). Obszar ten posłużył do wykonania dodatkowych ocen i analiz.

Po analizie dostępnych zdjęć wybrano następujące materiały:

1) Bagna Biebrzańskie:

- zdjęcie satelity KH-4 z dnia 19 lipca 1963 r.
- zdjęcie satelity KH-4A z dnia 6 czerwca 1964 r.

2) Okolice Warszawy:

— zdjęcie satelity KH-3 (Discoverer XXIX) z dnia 30 sierpnia 1961r.

— zdjęcie satelity KH-4A z dnia 26 września 1965 r.

— zdjęcie satelity KH-4A z dnia 25 września 1969 r.

— zdjęcie satelity KH-4B z dnia 6 maja 1972 r.

Zdjęcia te spełniają postawione wyżej kryteria i umożliwiają zrealizowanie na nich założonego zakresu badań.

Ocena jakości zdjęć

Zamówione zdjęcia dostarczone zostały jako negatywy wtórne na filmie fotograficznym szerokości 70 mm. Pierwszą czynnością była ocena ich jakości pod względem fotograficznym. Oceniono jakość podłoża i obecność uszkodzeń mechanicznych.

1. Podłoże na jakim wykonane są negatywy wtórne wykazuje niepełną przezroczystość i niewielkie przydymienie. Ogranicza to nieco kontrast między obiektami odfotografowanymi, nie dyskwalifikując jednak materiałów. Ta wada przy dalszej obróbce cyfrowej jest stosunkowo łatwa do usunięcia i nie wpływa w znaczący sposób na możliwość wykorzystania materiałów.

2. Otrzymane materiały wolne były od uszkodzeń mechanicznych możliwych do stwierdzenia przy ocenie makroskopowej. Nie zauważono także zanieczyszczeń negatywu. Trzeba jednak zaznaczyć, że miejscami na obrazach po skanowaniu widoczne były cienkie linie — jakby ślady bardzo delikatnych zarysowań emulsji. Możliwe jest jednak, że powstały one już na negatywach i kopiowane są na kolejnych odbitkach. Nie dyskwalifikują one jednak materiałów.

W sumie ocena materiałów wypada pozytywnie — ze strony jakości negatywów wtórnych nie powinny występować większe problemy w badaniach.

Technologia przetwarzania zdjęć na postać cyfrową

W celu wykonania zamierzonych ocen i analiz postanowiono poddać zdjęcia typowemu w obecnych technologiach przetworzeniu do postaci cyfrowej poprzez skanowanie. Jednak sam sposób skanowania i zastosowane standardy wymagają krótkiego omówienia.

Wysoka jakość negatywów wtórnych (małe ziarno) i potencjalnie bardzo wysokie parametry układu optycznego satelity rejestrującego zdjęcie zmuszają do rozważnego doboru rozdzielczości skanowania tak, aby uzyskać założoną dokładność obrazów cyfrowych. Rozwiązania dotyczące filmów Kodak oraz konstrukcji i optyki kamer późnych generacji satelitów programu CORONA były tak zaawansowane, że bezstratne ska-

nowanie wymaga rozdzielczości optycznej sięgającej 5000 ppi (Leachtenauer, 1998). Są to wysokie wymagania względem skanera. Dodatkowo skanowanie komplikują nietypowe rozmiary negatywu. Istnieje kilka możliwych rozwiązań:

1) skanery do filmów formatu 70 mm: osiągają one rozdzielczość optyczną sięgającą 4000 ppi (standardowo: 1800 ppi, 2700 ppi lub 4000 ppi) przy dynamice sięgającej 4.2D. Są to dobre parametry, jednak nie zawsze wystarczające. Problemem jest także typowy rozmiar skanowanych fragmentów: maksymalnie 6 na 6 cali (152,4 na 152,4 mm).

2) profesjonalne skanery płaskie: rozdzielczości optyczne przekraczają tutaj 5000 ppi, jednak problemem jest skanowanie tak dużych (długich) negatywów. Typowym rozwiązaniem jest stosowanie specjalnej szuflady na negatyw, co uniemożliwia skanowanie badanych materiałów bez ich cięcia. W innych rozwiązaniach stosuje się pełnowymiarowy blat na materiałach transparentne (np. Heidelberg Topaz i następcy).

3) skanery fotogrametryczne: skanery fotogrametryczne oferują rozdzielczości sięgające 7 (7,5) mikrometrów czyli maksymalnie ok. 3600 ppi. Stosowane systemy z ruchomym stolikiem (np. Zeiss-Intergraph PhotoScan PS1) umożliwiają skanowanie bez cięcia negatywów.

4) skanery bębnowe: poligraficzne skanery bębnowe oferują możliwość skanowania z rozdzielczościami sięgającymi 12000 ppi przy wysokiej dynamice przekraczającej 4.2D. Przy umiejętnym owinięciu negatywu na bębnie możliwe jest skanowanie fragmentów nie pociętych negatywów.

5) półprofesjonalne skanery płaskie: najnowsze (lutym 2003 roku) skanery płaskie do celów półprofesjonalnych cechują się rozdzielczością optyczną sięgającą 2400 ppi, a nawet 3200 ppi. Ich dynamika nie przekracza 4.0D co może utrudniać pracę z negatywami o dużej rozpiętości tonalnej. Możliwe jest skanowanie dużych fragmentów negatywów bez ich cięcia. Z uwagi na większą dostępność (i znacznie niższą cenę) mogą być stosowane do części prac z wykorzystaniem materiałów programu CORONA.

W przypadku niniejszej pracy wykonano skanowanie negatywów wtórnych z rozdzielczością 15 mikrometrów (1696 ppi) na skanerze Zeiss-Intergraph PhotoScan PS1 oraz skanowanie w rozdzielczościach 3000 ppi, 4000 ppi oraz 5000 ppi na bębnowym skanerze poligraficznym Global Graphics ICG 335i Sentinel.

Ocena jakości obrazów po skanowaniu

W celu przetestowania możliwości negatywów dla różnych generacji satelitów programu CORONA wykonano testowe skanowania wybranego obszaru (ujście Narwi do Wisły) w różnych rozdzielczościach:

1) satelita KH-3 dla 3000 ppi, 4000 ppi

2) satelita KH-4A dla 3000 ppi, 4000 ppi

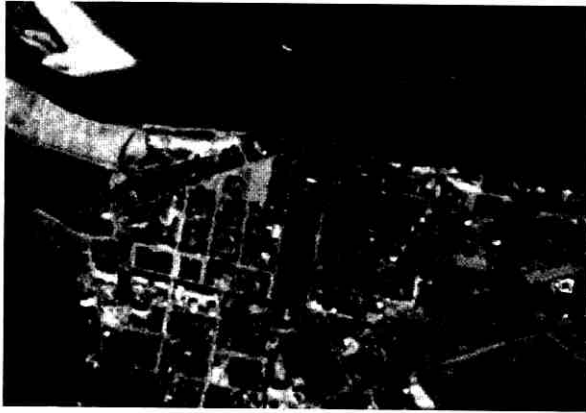
3) satelita KH-4B dla 3000 ppi, 4000 ppi, 5000 ppi.

Założono, że rozdzielczość 5000 ppi powinna wydobyć

ze zdjęć wykonanych przez najbardziej zaawansowaną generację satelitów programu CORONA praktycznie wszystkie zarejestrowane na filmie informacje.

Wyniki skanowania porównano wizualnie i przyporządkowano ocenę według standardu Civil NIIRS (Leachtenauer, 1998).

1. Satelita KH-3 przy rozdzielczości skanowania 3000 ppi: obrazy uzyskane przez satelitę należącego do pierwszych generacji mimo pewnych zastrzeżeń zawierają wiele interesujących danych (ryc. 1). Dobrze widoczne są obszary zabudowane z wyraźną siatką dróg. Widać bardzo dobrze koleje i drogi, wyraźnie widać też skrzyżowania. Widoczne są rzeki i piaszczy-



Ryc. 1. Obraz z satelity KH-3 z 30 sierpnia 1961 r. skanowany z rozdzielczością 3000 ppi. Na obrazie widoczny jest fragment Nowego Dworu Mazowieckiego.

Fig. 1. KH-3 image (August 30, 1960), covering Nowy Dwór Mazowiecki city, scanned with resolution 3000 ppi.

ste ląchy. Lasy są dobrze widoczne, jednak wyróżnianie w nich różnych drzewostanów jest bardzo utrudnione. Dobrze widoczna jest struktura pól i łąk, widać stosunkowo wyraźnie różnice wilgotności łąk na terenach dolinnych. Widać pojedyncze skupiska krzewów (ryc. 8). Obraz jest stosunkowo dobrze czytelny. W skali Civil NIIRS można te obrazy ocenić jako poziom 3 (Civil NIIRS Level 3).

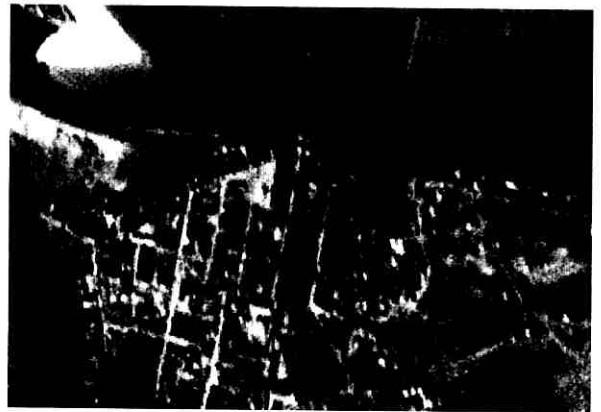
2. Satelita KH-3 przy rozdzielczości skanowania 4000 ppi: obrazy z satelity KH-3 skanowane z rozdzielczością 4000 ppi noszą nieco więcej informacji niż skanowane z rozdzielczością 3000 ppi. Widoczne są lepiej krawędzie wydziałów (ryc. 2), można wyróżnić duże krzewy i większe drzewa przydrożne. Drogi w obrębie zabudowy są bardzo wyraźne. Dobrze też widać niewielkie ciekі. Obrazy te można ocenić na Civil NIIRS Level 4.

3. Satelita KH-4A przy rozdzielczości skanowania 3000 ppi: obrazy uzyskane tego satelitę mimo pewnych zastrzeżeń zawierają wiele treści (ryc. 3). Wyraźnie widoczne są obiekty liniowe takie jak linie kolejowe i (szczególnie dobrze) drogi. Bardzo wyraźne są lasy, jednak bardzo trudno jest wydzielić drzewostany liściaste od iglastych (jest to praktycznie niewykonalne). Duże obszary zabudowane wyróżniane są bez problemu, przy



Ryc. 2. Obraz z satelity KH-3 z 30 sierpnia 1961 r. skanowany z rozdzielczością 4000 ppi. Na obrazie widoczny jest fragment Nowego Dworu Mazowieckiego.

Fig. 2. KH-3 image (August 30, 1960) covering Nowy Dwór Mazowiecki city, scanned with resolution 4000 ppi.



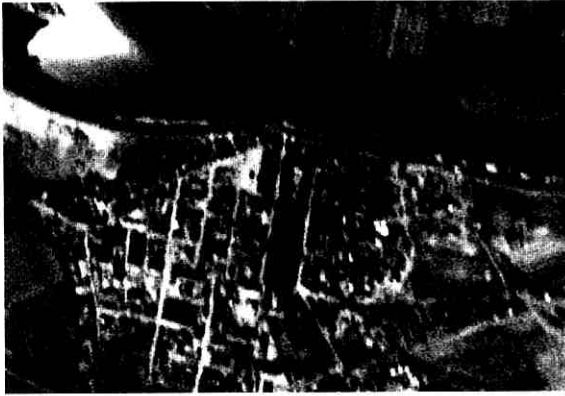
Ryc. 3. Obraz z satelity KH-4A z 26 września 1965 r. skanowany z rozdzielczością 3000 ppi. Na obrazie widoczny jest fragment Nowego Dworu Mazowieckiego.

Fig. 3. KH-4A image (September 26, 1965), covering Nowy Dwór Mazowiecki city, scanned with resolution 3000 ppi.

niewielkich wsiach (szczególnie typu ulicówki, łańcuchówki) istnieją problemy w wyróżnieniu obszaru zabudowanego. Obszary wodne są wyraźnie widoczne, jednak nie da się wyróżnić rzeki z dużym ładunkiem niesionych zawieszin. Możliwe jest wyróżnienie łąk wilgotnych, jednak nie daje się ich różnicować (ryc. 9). Wszystkie granice są stosunkowo nieostre, szczególnie dotyczy to zabudowy (wyraźne rozmycie dużych budynków i hal). Obrazy wydają się być przydatne przy pracach w skalach średnich. Generalnie są gorszej jakości niż badane obrazy satelity KH-3. Ocena pojemności informacyjnej: Civil NIIRS Level 2.

4. Satelita KH-4A przy rozdzielczości skanowania 4000 ppi: obrazy satelity serii KH-4A skanowane z rozdzielczością 4000 ppi mają podobną pojemność informacyjną jak skanowane z rozdzielczością 3000 ppi. Rozmycie granic i obiektów jest podobne (ryc. 4). Obrazy te można zakwalifikować jako Civil NIIRS Level 2.

5. Satelita KH-4B przy rozdzielczości skanowania



Ryc. 4. Obraz z satelity KH-4A z 26 września 1965 r. skanowany z rozdzielczością 4000 ppi. Na obrazie widoczny jest fragment Nowego Dworu Mazowieckiego.

Fig. 4. KH-4A image (September 26, 1965), covering Nowy Dwór Mazowiecki city, scanned with resolution 4000 ppi.



Ryc. 5. Obraz z satelity KH-4B z 6 maja 1972 r. skanowany z rozdzielczością 3000 ppi. Na obrazie widoczny jest fragment Nowego Dworu Mazowieckiego.

Fig. 5. KH-4B image (May 6, 1972), covering Nowy Dwór Mazowiecki city, scanned with resolution 3000 ppi.

3000 ppi: obrazy z satelity KH-4B stanowią nową jakość w porównaniu z dotychczas opisywanymi obrazami satelitów wcześniejszych generacji (ryc. 5). Granice między poszczególnymi obiektami nie są rozmyte. Bardzo dobrze widać wszystkie komponenty środowiska geograficznego. Szczególnie dobrze widoczna jest zabudowa i obiekty komunikacyjne: drogi i koleje. Bez trudu można wyznaczyć przebieg ścieżek. W dużych powiększeniach widać „schodkowatość” krawędzi dróg i zabudowy, nie wpływa to jednak na możliwość interpretacji. Można wyróżnić nie tylko obszary zabudowy wiejskiej, ale często także pojedyncze parcele. Możliwe jest wydzielenie rodzajów drzewostanów (ryc. 10). W sumie należy uznać te obrazy za zbliżone do zdjęć lotniczych w skalach średnich. Obrazom tym można nadać klasę pojemności informacyjnej Civil NIIRS Level 4.

6. Satelita KH-4B przy rozdzielczości skanowania 4000 ppi: skanowanie w rozdzielczości 4000 ppi wydo-

bywa kolejne informacje z obrazu rejestrowanego przez satelitę KH-4B (ryc. 6). W porównaniu do skanowania w rozdzielczości 3000 ppi wyraźniejsze są krawędzie dróg i domów (mniejszy efekt „schodkowatości”). Widać nie tylko pojedyncze parcele, lecz także pojedyncze budynki mieszkalne i większe gospodarskie. Obrazy można zakwalifikować jako Civil NIIRS Level 4.



Ryc. 6. Obraz z satelity KH-4B z 6 maja 1972 r. skanowany z rozdzielczością 4000 ppi. Na obrazie widoczny jest fragment Nowego Dworu Mazowieckiego.

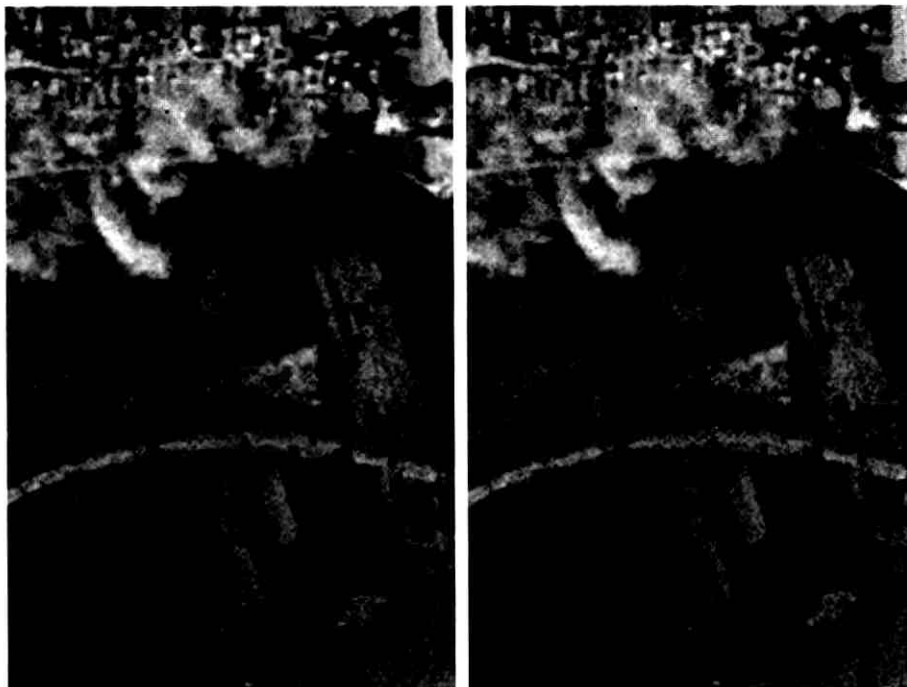
Fig. 6. KH-4B image (May 6, 1972), covering Nowy Dwór Mazowiecki city, scanned with resolution 4000 ppi.

7) Satelita KH-4B przy rozdzielczości 5000 ppi: skanowanie obrazów z satelity KH-4B z maksymalną rozdzielczością 5000 ppi pozwala na uzyskanie kolejnych informacji. Widoczne są wszystkie komponenty środowiska geograficznego omówione poprzednio. Obiekty prostoliniowe, takie jak drogi, koleje, granice pól i zabudowania nie wykazują praktycznie „schodkowania” wynikającego z niewystarczającej rozdzielczości skanowania (ryc. 7). W przypadku zabudowy można wydzielać pojedyncze zabudowania, także niewielkie gospodarskie. W przypadku dróg widać jadące



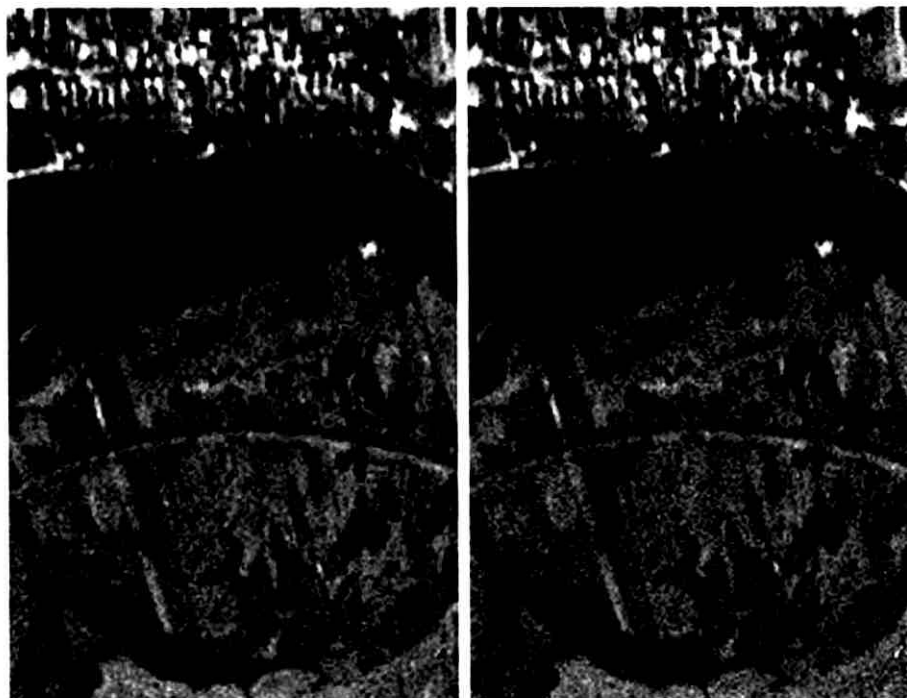
Ryc. 7. Obraz z satelity KH-4B z 6 maja 1972 r. skanowany z rozdzielczością 5000 ppi. Na obrazie widoczny jest fragment Nowego Dworu Mazowieckiego.

Fig. 7. KH-4B image (May 6, 1972), covering Nowy Dwór Mazowiecki city, scanned with resolution 5000 ppi.



Ryc. 8. Fragment obrazu satelity KH-3: po lewej w rozdzielczości 3000 ppi, po prawej w rozdzielczości 4000 ppi.

Fig. 8. KH-3 image scanned with resolution 3000 ppi (left image) and 4000 ppi (right image)



Ryc. 9. Fragment obrazu satelity KH-4A: po lewej w rozdzielczości 3000 ppi, po prawej w rozdzielczości 4000 ppi.

Fig. 9. KH-4A image scanned with resolution 3000 ppi (left image) and 4000 ppi (right image).

większe pojazdy. W przypadku linii kolejowych widać stacje, budynki stacyjne i perony. Stopień szczegółowości obrazów skanowanych z rozdzielczością 5000 ppi jest podobny do typowych panchromatycznych zdjęć lotniczych z tamtego okresu (ryc. 10). Pojemność informacyjną można określić na Civil NIIRS Level 5.

Wyniki tej analizy można podsumować następująco.

Zdjęcia rejestrowane przez różne generacje satelitów programu CORONA cechują się różną pojemnością informacyjną związaną z maksymalną rozdzielczo-

ścią geometryczną. Największą pojemność informacyjną posiadają zdjęcia ostatniej generacji satelitów (KH-4B), która odpowiada pojemności informacyjnej typowych zdjęć lotniczych z tego okresu. Jednak wydobyć wszystkie informacje wymaga skanowania zdjęć z rozdzielczością geometryczną 5000 ppi. Dla zdjęć wcześniejszych generacji satelitów wystarczające są rozdzielczości skanowania 3000 ppi lub 4000 ppi. Należy zwrócić uwagę, że zdjęcia wykonane przez satelity późniejszych generacji wcale nie muszą być lepsze



Ryc. 10. Fragment obrazu satelity KH-4B: po lewej w rozdzielczości 3000 ppi, w środku w rozdzielczości 4000 ppi, po prawej w rozdzielczości 5000 ppi.

Fig. 10. KH-4B image scanned with resolution 3000 ppi (left image), 4000 ppi (center image) and 5000 ppi (right image).

od generacji KH-3. Ocena zdjęć wymaga przetestowania ich pojemności informacyjnej dla każdej serii zdjęć indywidualnie. Jest to zapewne związane z warunkami lotu i rejestracji w różnych misjach programu CORONA.

Obrazy zarejestrowane przez satelity generacji KH-4B wydają się być porównywalne do zdjęć lotniczych z lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku i po skanowaniu z rozdzielczością rzędu 5000 ppi mogą być wykorzystywane do porównań ze zdjęciami lotniczymi w dużych skalach. Zdjęcia wcześniejszych generacji mogą być wykorzystywane do porównań ze zdjęciami lotniczymi w skalach średnich i dużych, a więc w skalach stosowanych często przy bardziej szczegółowych badaniach przyrodniczych.

Przetwarzanie geometryczne

Zdjęcia z satelitów programu CORONA wszystkich serii rejestrowane były za pomocą kamery panoramicznej. Wykorzystanie takiej kamery przy stosunkowo niewielkiej wysokości lotu satelity nad fotografowanym terenem powoduje powstanie istotnych zniekształceń geometrycznych, szczególnie na skrajach zdjęcia, które muszą zostać poprawione przed interpretacją zdjęć.

Stosuje się różne metody geometryzacji. W przypadku zdjęć satelitarnych stosuje się przeważnie geometryzację modelem Affine (wielomian pierwszego stopnia: zmiana skali, obrót, zmiany rozmiaru całego obrazu o średnią wartość wyliczoną z położenia punktów geometryzacji). Daje to dobre rezultaty, mieszczące się w granicach zakładanych błędów. Z kolei dla zdjęć lotniczych stosuje się przeważnie model Projective, uwzględniający własności rzutu środkowego w jakim wykonywane są zdjęcia lotnicze. Modele wielomiano-

we, od stopnia 2 do 5, stosowane są w przypadku bardzo dokładnych opracowań i w przypadku znacznych zniekształceń geometrycznych obrazów. Modele te powodują lokalne „naciąganie” obrazu (Bychawski, 1988). W przypadku zdjęć programu CORONA, cechujących się nieliniowymi zniekształceniami geometrycznymi zasadne wydaje się stosowanie metody wielomianowej. Stosowanie wyższych stopni przy metodzie wielomianowej powoduje jednak znaczne przekształcenia obrazu pomiędzy punktami geometryzacji i powinno być stosowane z dużą ostrożnością, szczególnie w przypadku niewielkiej liczby punktów geometryzacji lub ich nierównomiernego rozłożenia na obrazie (Novak, 1992).

W niniejszej pracy spróbowano porównać wyniki geometryzacji przeprowadzonej różnymi metodami na przykładzie obszaru badawczego Kuligi. Obraz geometryzowano w dwóch etapach:

1) początkowo geometryzowano zdjęcie lotnicze, wykorzystywane do porównań jako zdjęcie „reperowe”, do map w skali 1:25 000 z lat 60. XX w. Ponieważ wykorzystywano jedynie fragment pojedynczego zdjęcia wykorzystano metodę wielomianu drugiego stopnia. Wykorzystywano funkcję geometryzacji obrazu do mapy topograficznej;

2) w drugim etapie wykorzystując funkcję geometryzacji „obraz do obrazu” geometryzowano obraz satelitarny do zdjęcia lotniczego. Przetestowano kilka metod wybierając optymalną. Prowadząc geometryzację obrazu programu CORONA do zdjęcia lotniczego znaleziono 21 wspólnych punktów geometryzacji otrzymując następujące średnie błędy pozycji punktów na zgeometryzowanych obrazach (1 piksel = 0,5 m):

- metoda Affine: 26,7821 piksela
- wielomian drugiego stopnia: 4,6717 piksela
- wielomian trzeciego stopnia: 4,3017 piksela.

Pozostałe metody ze względu na duże błędy lub dużą niepewność dla wielomianów czwartego i piątego stopnia nie były testowane.

Podobne wyniki otrzymywano przy geometryzacji pozostałych obszarów badawczych. Za najlepszą metodę uznano wielomian drugiego stopnia, jako metodę pozwalającą na geometryzację obrazów zniekształconych nieliniowo, a jednocześnie bezpieczną w przypadku braku idealnego, równomiernego rozłożenia punktów geometryzacji na obrazie. Wydaje się, że w przypadku bardzo dużej liczby punktów geometryzacji rozłożonych równomiernie (np. dla terenu zabudowanego) można stosować wielomian trzeciego stopnia, a w niektórych przypadkach nawet wielomian czwartego stopnia.

Porównanie z innymi materiałami satelitarnymi

Na potrzeby tej pracy wykonano krótkie porównanie obrazów rejestrowanych przez satelity programu CORONA z ogólnodostępnymi materiałami satelitarnymi. Ponieważ jest to dodatkowy element pracy, wykonano jedynie zgrubne porównanie.

Zdjęcia wykonane w czasie trwania programu CORONA w misjach KH-4A i KH-4B można porównywać bezpośrednio dopiero z obrazami satelity IKONOS dostępnymi od 2000 r., a wcześniejszych misji (KH-3) z obrazami skanera panchromatycznego satelity IRS. Wszystkie wcześniejsze obrazy panchromatyczne cechują się gorszą jakością. Dużą niedogodnością obrazów programu CORONA jest jednak to, że były one rejestrowane praktycznie tylko w zakresie panchromatycznym.

Ocena przydatności — uwagi wstępne

W celu oceny przydatności badanych zdjęć do badań środowiska geograficznego Polski wykorzystano obrazy dla opisanych wcześniej obszarów badawczych: Bagien Biebrzańskich oraz okolic Warszawy. Starano się scharakteryzować jakość obrazów poprzez ich porównanie do najlepszych dostępnych materiałów teledetekcyjnych dla tego obszaru z lat 60. w postaci zdjęć lotniczych. Poprzez porównanie wydzielen na zdjęciach lotniczych i obrazach satelitarnych programu CORONA udzielono odpowiedzi na pytanie: jakie elementy środowiska geograficznego, w jakiej skali i przy jakich ograniczeniach można interpretować wykorzystując obrazy programu CORONA (Ciołkosz i in., 1999).

Obrazy były interpretowane ekranowo, tzn. wydzielenia wprowadzone były ręcznie bezpośrednio na wyświetlanych na ekranie komputera obrazach. Wydzielenia były kodowane w bazie danych w celu ich późniejszej analizy.

Wykorzystane zdjęcia lotnicze

W porównaniach dla obszaru Bagien Biebrzańskich wykorzystano zdjęcia lotnicze wykonane w latach

1963–1964. Materiały źródłowe miały postać odbitek stykowych. Ich jakość oceniono jako zadowalającą, dało się jednak zauważyć znaczne ściemnienie obrazu na skrajach zdjęcia spowodowane zapewne jakością optyki kamery lotniczej. Dlatego wybrano fragmenty zdjęć obejmujące środkowe ich obszary. Materiały te zostały zeskanowane rastrem 500 ppi, co pozwoliło na uzyskanie obrazu o rozdzielczości geometrycznej 0,5 m. Zostały one zgeometryzowane metodą „obraz do mapy” za pomocą oprogramowania firmy Intergraph do map w układzie 42 i skali 1:25 000 z lat 50. i 60. Po operacjach związanych z rozciągnięciem histogramu otrzymano obrazy o jakości wystarczającej do porównań.

W przypadku obszaru badawczego Zegrze w okolicach Warszawy wykorzystano do porównań zdjęcia lotnicze barwne w skali około 1:26 000 wykonane w roku 2001, skanowane z rozdzielczością 667 ppi. Zdjęcia zostały później przepróbkowane na rozdzielczość terenową 1,0 m.

Wykorzystane zdjęcia programu CORONA

W badaniach dotyczących przydatności zdjęć programu CORONA do badań środowiska geograficznego Polski wykorzystano następujące zdjęcia satelitarne:

- 1) Obszar badawczy Goniądz:
 - zdjęcie satelity KH-4A z dnia 6 czerwca 1964 r.
- 2) Obszar badawczy Kuligi:
 - zdjęcie satelity KH-4 z dnia 19 lipca 1963 r.
 - zdjęcie satelity KH-4A z dnia 6 czerwca 1964 r.
- 3) Obszar badawczy Zegrze:
 - zdjęcie satelity KH-3 (Discoverer XXIX) z dnia 30 sierpnia 1961 r.

Zdjęcia zostały zeskanowane z rozdzielczością optyczną 1696 ppi na skanerze fotogrametrycznym Zeiss-Intergraph PhotoScan PS1.

Wybór rozdzielczości skanowania podyktowany był typowymi możliwościami dla zespołów badawczych zajmujących się teledetekcyjnymi badaniami środowiska geograficznego oraz typowymi skalami takich opracowań.

Oprogramowanie i baza danych

W celu wykonania porównań zdjęć lotniczych i obrazów programu CORONA dla trzech obszarów badawczych utworzono bazę danych zawierającą wydzielenia dla badanych obrazów. Wykorzystano w tym celu oprogramowanie Geomedia Professional 4.0 firmy Intergraph. Umożliwiło to wykonanie porównań statystycznych wykorzystujących funkcjonalność systemów GIS.

Skala interpretacji

W celu analizy rozróżnialności komponentów środowiska geograficznego wykonano serię interpretacji par obrazów (zdjęcie lotnicze — zdjęcie CORONA) w 4 skalach:

- około 1:15000
- około 1:10 000
- około 1:7500
- około 1:4200.

Przy skali 1:15000, skali 1:10 000 oraz skali 1:7500 w obrazie piksele są niewidoczne, a obraz pozbawiony ziarnistości. Są to skale najwłaściwsze dla interpretacji zdjęć skanowanych z rastrem 1700 ppi. Przy skali interpretacji 1:4200 wyraźnie widoczne są piksele obrazu i jest to maksymalna skala, dla której można przeprowadzić interpretację zdjęcia satelity CORONA KH-4 skanowanego w rozdzielczości 1700 ppi.

Wykonano także interpretację zdjęcia lotniczego w skali 1:2000, którą to interpretację uznano za „refer” dla pozostałych interpretacji. Uznano, że obraz interpretowany w takiej skali niesie maksymalną ilość informacji z maksymalną dokładnością.

Porównanie wydzieleni na zdjęciach lotniczych i obrazach programu CORONA ma odpowiedzieć na pytanie, przy jakiej skali wyniki obu interpretacji są zbliżone, co świadczy o dużej „zastępowalności” zdjęć lotniczych przez zdjęcia programu CORONA. Spodziewana jest spora zgodność przy skalach mniejszych, zmniejszająca się w kierunku skal większych, gdzie pojemność informacyjna zdjęć lotniczych będzie znacznie większa od obrazów programu CORONA. Analiza zgodności wydzieleni pozwoli na stwierdzenie, jakie skale opracowań są możliwe dla zdjęć programu CORONA skanowanych w rozdzielczości 1700 ppi (15 mikrometrów).

Wydzielone kategorie pokrycia terenu

Przyjęto kilkanaście kategorii pokrycia terenu, wybranych tak, aby wyróżnić możliwie wszystkie widoczne typy pokrycia terenu. Nie jest to klasyfikacja zgodna z Corine Land Cover, gdyż zastosowane tam wydzielenia agregują różne elementy pokrycia terenu (np. domy, niewielkie pola i zakrzewienia) w jedną klasę (Ciolkosz, 1999). Celem natomiast badań jest określenie przydatności zdjęć do badań różnych komponentów środowiska geograficznego.

Każde wydzielenie zostało zakwalifikowane wg dwóch systemów: Land Cover (pokrycie terenu) oraz Land Use (użytkowanie terenu).

W dalszych badaniach wobec wszystkich obszarów badawczych stosowano następujące wydzielenia:

Pokrycie terenu:

- 1 — zabudowa: obszary zabudowane wszelkiego typu;
- 2 — grunty orne: grunty pokryte uprawami bądź grunty zaorane, odkryte;
- 3 — łąki: różnego rodzaju łąki i pastwiska;
- 4 — łąki wilgotne i podmokłe: łąki o widocznym zawilgoceniu;
- 5 — lasy liściaste: lasy liściaste i mieszane o przewadze gatunków liściastych;
- 6 — bory iglaste: bory iglaste i lasy mieszane o przewadze gatunków iglastych;

- 7 — zadrzewienia i zakrzewienia: wszelkiego rodzaju zadrzewienie i zakrzewienia, sady, nieużytki;
- 8 — drogi i koleje;
- 9 — wody: rzeki, jeziora, starorzecza.

Wymienione klasy pokrycia terenu pozwalają na określenie przydatności zdjęć programu CORONA do badań pokrycia terenu oraz innych analiz geograficznych prowadzonych w skalach średnich.

Kod barwny kategorii pokrycia terenu:

	wody <i>waters</i>
	drogi <i>roads</i>
	bory iglaste <i>coniferous forests</i>
	lasy liściaste <i>deciduous forests</i>
	łąki wilgotne <i>wet meadows</i>
	łąki <i>meadows</i>
	grunty orne <i>arable lands</i>
	zabudowa <i>urban areas</i>

Użytkowanie terenu:

- 10 — zabudowa zwarta: kamienice i przylegające do siebie domy mieszkalne, bez towarzyszących budynków gospodarskich;
- 11 — zabudowa zagrodowa: obszary posesji większych z towarzyszącymi budynkami gospodarskimi;
- 12 — tereny przydomowe: obszary połączonych poletek, sadów, zadrzewień i zakrzewień położone tuż przy budynkach mieszkalnych;
- 13 — zakłady przemysłowe: różnego rodzaju zakłady przemysłowe;
- 14 — tereny składowe: tereny nie pokryte roślinnością służące jako miejsce składowania;
- 15 — parki miejskie, skwery: skwery z alejkami lub bez na terenach miejskich i w centrach wsi;
- 16 — budynki usługowe, kościoły;
- 17 — zabudowa rekreacyjna: zabudowa niska, z reguły w skupiskach na niewielkich działkach przeznaczona do wypoczynku i rekreacji;
- 18 — rozproszona zabudowa: samodzielne budynki i gospodarstwa położone w znacznej odległości od siebie, lecz tworzące zgrupowania;
- 20 — grunty orne odkryte jasne: odkryta gleba dająca duże odbicie spektralne;
- 21 — grunty orne odkryte ciemniejsze: odkryta gleba dająca mniejsze odbicie spektralne;
- 22 — grunty orne pokryte jasne: roślinność uprawowa niezbyt wysoka;
- 23 — grunty orne pokryte ciemniejsze: roślinność uprawiana wysoka lub przysłaniająca całkowicie glebę;
- 24 — grunty orne zarośnięte: całkowicie lub częściowo zarośnięte grunty orne, odłogi;
- 30 — łąki jasne: łąki z niewysoką roślinnością trawiastą;
- 31 — łąki ciemniejsze: łąki z wysokimi trawami;

- 32 — pastwiska: obszary trawiaste przeznaczone przeważnie dla bydła;
- 33 — łąki z kępami krzewów: łąki z występującymi skupiskami niewielkich krzewów;
- 40 — łąki mało wilgotne: łąki o ciemniejszym odcieniu, wywołanym niewielką wilgotnością;
- 41 — łąki mocno wilgotne: łąki o ciemniejszym odcieniu, wywołanym sporą wilgotnością;
- 42 — łąki podmokłe: łąki okresowo zalewane, o dużej wilgotności;
- 43 — łąki mocno podmokłe: łąki okresowo zalewane, położone najniżej, cechujące się wysoką wilgotnością;
- 44 — łąki podmokłe z wysoką roślinnością;
- 45 — szuwary, trzciny: obszary sąsiadujące z ciekami i pokryte roślinnością przyrzeczną lub przyjeziorną;
- 50 — lasy liściaste zwarte: lasy liściaste o dużym zwarciu drzewostanu;
- 51 — lasy liściaste luźne: lasy liściaste o niewielkim zwarciu drzewostanu;
- 52 — zagajniki liściaste: niskie uprawy leśne liściaste;
- 53 — lasy liściaste/mieszane zwarte: lasy liściaste o dużym udziale drzewostanów iglastych o dużym zwarciu drzewostanu;
- 54 — lasy liściaste/mieszane luźne: lasy liściaste o dużym udziale drzewostanów iglastych o małym zwarciu drzewostanu;
- 60 — lasy iglaste zwarte: bory iglaste o dużym zwarciu drzewostanu;
- 61 — lasy iglaste luźne: bory iglaste o niewielkim zwarciu drzewostanu;
- 62 — zagajniki iglaste: niskie uprawy leśne iglaste;
- 63 — lasy iglaste/mieszane zwarte: bory iglaste o dużym udziale drzewostanów liściastych o dużym zwarciu drzewostanu;
- 64 — lasy iglaste/mieszane luźne: bory iglaste o dużym udziale drzewostanów liściastych o niewielkim zwarciu drzewostanu;
- 70 — zadrzewienia zwarte: wysokie i średnie drzewa w zwartych kępach;
- 71 — zadrzewienia luźne: wysokie i średnie drzewa w luźnych kępach;
- 72 — zakrzewienia zwarte: wysokie i średnie krzewy w zwartych kępach;
- 73 — zakrzewienia luźne: wysokie i średnie krzewy w luźnych kępach;
- 74 — krzewy niskie: krzewy niskie w zwartych kępach lub obejmujące duże powierzchnie;
- 75 — sady: uprawy sadownicze drzew owocowych lub dużych krzewów owocowych;
- 76 — roślinność ruderalna: nieużytki pokryte częściowo naturalną roślinnością krzewiastą;
- 77 — nieużytki: tereny odsłonięte, nie pokryte roślinnością, nie użytkowane oraz wyrobiska;
- 80 — drogi bite: drogi o nawierzchni twardej;
- 81 — drogi gruntowe: drogi o nawierzchni gruntowej;

- 82 — parkingi: tereny przeznaczone na postój samochodów;
- 85 — koleje: tereny kolejowe łącznie z nasypami;
- 90 — rzeki: rzeki płynące o wyraźnie widocznej powierzchni wodnej;
- 91 — jeziora: obszary jezior;
- 92 — małe stawy/starorzecza: starorzecza oraz niewielkie formy wypełnione wodą w starorzeczach;
- 93 — obszary zalane: obszary znajdujące się pod wodą;
- 95 — kanały (w budowie): kanały oraz kanały w budowie;
- 98 — obszary portów (wody wewnętrzne portów): obszary wód wewnętrznych portów i osłonięte falochronami;
- 0 — nieklasyfikowane: tereny zastrzeżone i inne, których nie interpretowano (na przykład pokryte chmurami).

Taki dobór wydzieleni użytkowania terenu obejmuje wszystkie klasy widoczne na zdjęciach lotniczych i satelitarnych, a możliwe do zinterpretowania bez posilkowania się danymi dodatkowymi, np. z badań terenowych, zdjęć naziemnych, map itd.

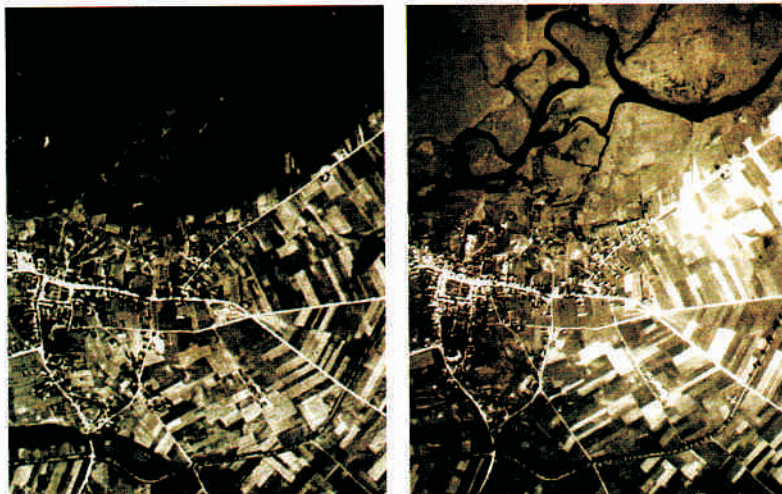
Analiza wydzieleni dla obszarów badanych

Goniądz

Obszar badawczy Goniądz obejmuje otoczenie miasta Goniądz o charakterystycznym układzie urbanistycznym z rynkiem, przyległymi kamienicami oraz przyległą zabudową rolniczą. Miasto położone jest na skraju tarasu nadzalewowego nad meandrującą Biebrzą, w dolinie której występują duże powierzchnie łąk wilgotnych (ryc. 11). W otoczeniu dominują pola uprawne i łąki, niewielkie skupiska drzew nad niewielkim ciekim (ryc. 12). Cały teren pozbawiony jest przemysłu i obejmuje typowe krajobrazy rolnicze przy lokalnym ośrodku miejskim (Kondracki, 1994).

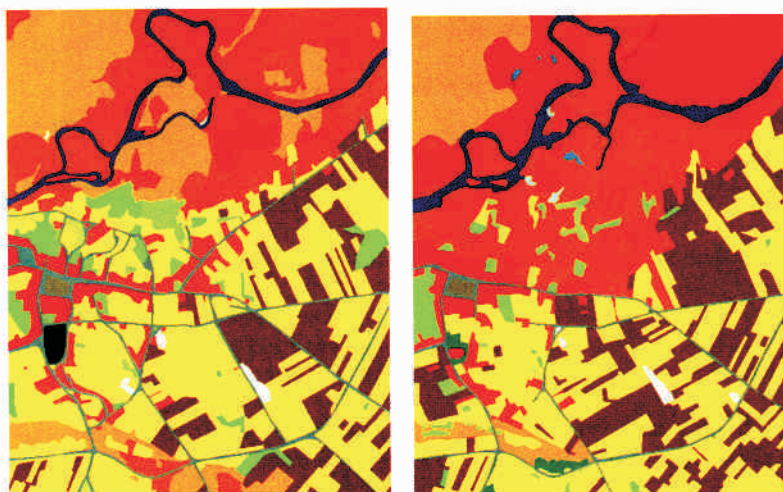
Dla obszaru badawczego Goniądz wykonano interpretację zdjęcia lotniczego i satelitarnego (CORONA) w czterech skalach w celu określenia możliwości wydzielenia elementów środowiska geograficznego i najważniejszych skal interpretacji oraz zwrócenia uwagi na powstałe problemy. Wyniki opisane zostaną w zależności od skali interpretacji (ryc. 23):

Skala ok. 1:15000. Na zdjęciu lotniczym wydzielono 139 obiektów należących do 22 kategorii (tab. 1). Na zdjęciach programu CORONA wydzielono 125 obiektów należących również do 22 kategorii (ryc. 13). Na zdjęciu lotniczym wydzielono klasę 53 — lasy liściaste/mieszane, nie wyróżniono natomiast klasy 92 — małe stawy/starorzecza, która występuje na zdjęciu satelitarnym. Korelacja powierzchni klas pokrycia terenu między zdjęciem lotniczym i satelitarnym jest wysoka i wynosi 0,952, a korelacja liczby obiektów w klasach pokrycia terenu wynosi 0,973 (tab. 1). Największe różnice występują w powierzchni klas grunty orne i łąki. Spowodowane jest ich słabą rozróżnialnością przy małych skalach i braku obserwacji stereosko-



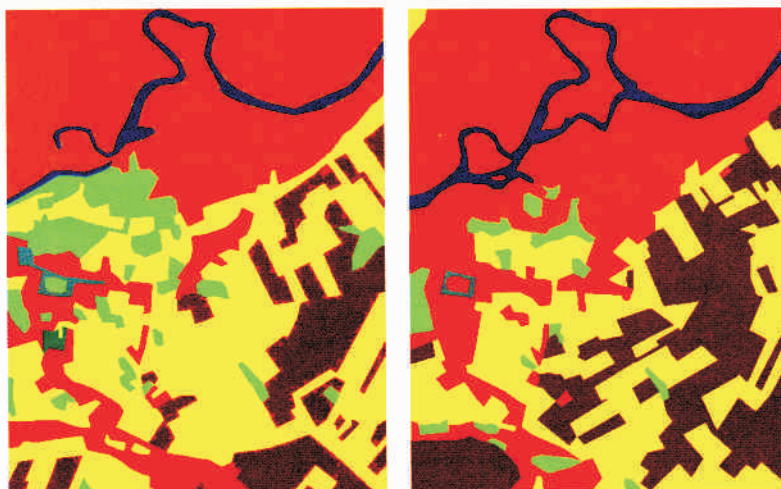
Ryc. 11. Obszar badawczy Goniądz: po lewej obraz satelity CORONA, po prawej zdjęcie lotnicze.

Fig. 11. Goniądz test field: CORONA satellite imagery (left) and aerial imagery (right).



Ryc. 12. Użytkowanie ziemi obszaru badawczego Goniądz: po lewej interpretacja obrazu satelity CORONA, po prawej interpretacja obrazu lotniczego.

Fig. 12. Land use in Goniądz test field: CORONA interpretation (left) and aerial image interpretation (right).

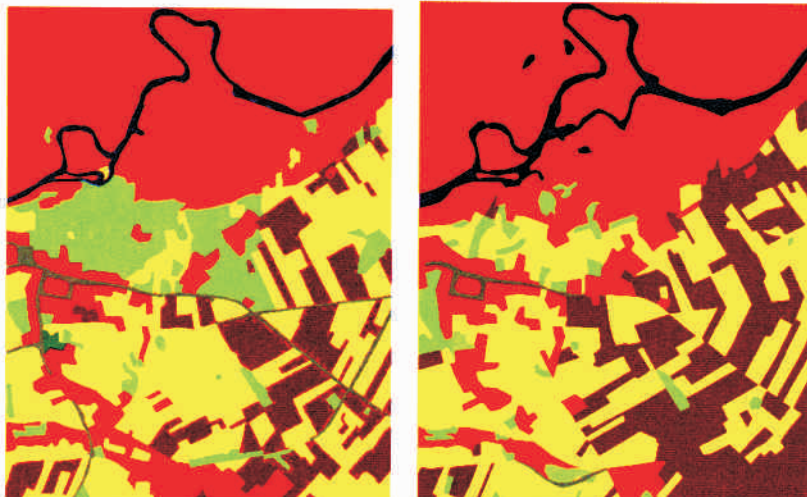


Ryc. 13. Interpretacja pokrycia terenu obszaru badawczego Goniądz w skali 1:15000: z lewej strony interpretacja obrazu satelity CORONA, z prawej strony interpretacja obrazu lotniczego.

Fig. 13. Land cover for Goniądz test field, scale 1:15000: CORONA imagery (left) and aerial imagery (right).

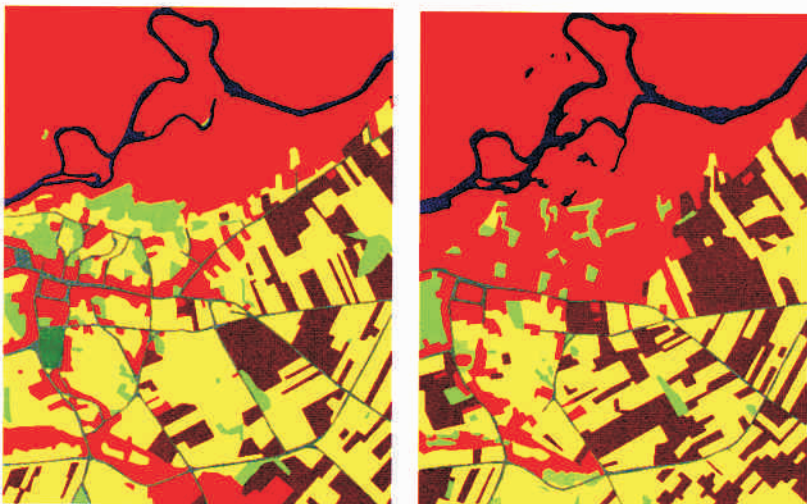
Ryc. 14. Interpretacja pokrycia terenu obszaru badawczego Goniądz w skali 1:10 000: z lewej strony interpretacja obrazu satelity CORONA, z prawej strony interpretacja obrazu lotniczego.

Fig. 14. Land cover for Goniądz test field, scale 1:10 000: CORONA imagery (left) and aerial imagery (right).



Ryc. 15. Interpretacja pokrycia terenu obszaru badawczego Goniądz w skali 1:7500: z lewej strony interpretacja obrazu satelity CORONA, z prawej strony interpretacja obrazu lotniczego.

Fig. 15. Land cover for Goniądz test field, scale 1:7500: CORONA imagery (left) and aerial imagery (right).



Ryc. 16. Interpretacja pokrycia terenu obszaru badawczego Goniądz w skali 1:4200: z lewej strony interpretacja obrazu satelity CORONA, z prawej strony interpretacja obrazu lotniczego.

Fig. 16. Land cover for Goniądz test field, scale 1:4200: CORONA imagery (left) and aerial imagery (right).

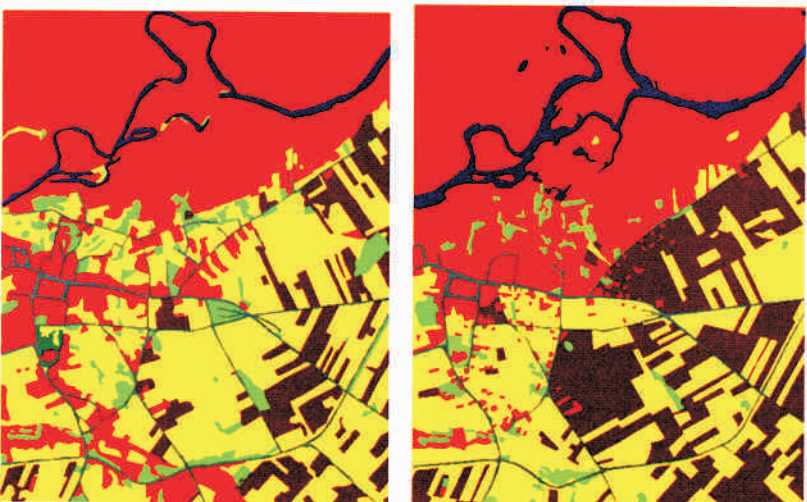


Tabela 1. Kategorie pokrycia terenu dla obszaru badawczego Goniądz
Land cover categories on Goniądz test field

Klasa pokrycia terenu <i>Land cover category</i>	Liczba wydzieleni <i>Object count</i>	Powierzchnia <i>Area [ha]</i>	max.	min.	Klasa pokrycia terenu <i>Land cover category</i>	Liczba wydzieleni <i>Object count</i>	Powierzchnia <i>Area [ha]</i>	max.	min.
CORONA 5 VI 1964 skala/scale 1:15000					CORONA 5 VI 1964 skala/scale 1:10 000				
Zabudowa <i>Urban areas</i>	8	23,6	10,8	0,2	Zabudowa <i>Urban areas</i>	19	20,4	2,9	0,1
Grunty orne <i>Arable lands</i>	42	51,7	6,9	0,1	Grunty orne <i>Arable lands</i>	63	51,5	3,9	0,1
Łąki <i>Meadows</i>	34	122,9	24,2	0,3	Łąki <i>Meadows</i>	64	103,9	6,8	0,1
Łąki wilgotne <i>Wet meadows</i>	15	138,1	38,8	0,3	Łąki wilgotne <i>Wet meadows</i>	30	143,6	39,2	0,1
Lasy liściaste <i>Deciduous forests</i>	0	0,0			Lasy liściaste <i>Deciduous forests</i>	0	0,0		
Lasy iglaste <i>Coniferous forests</i>	1	1,1	0,8	0,8	Lasy iglaste <i>Coniferous forests</i>	1	0,6	0,6	0,6
Zakrzewienia i zadrzewienia <i>Shrubs</i>	24	27,3	9,8	0,2	Zakrzewienia i zadrzewienia <i>Shrubs</i>	40	39,8	9,0	0,1
Drogi <i>Roads</i>	1	1,9	1,9	1,9	Drogi <i>Roads</i>	2	7,5	6,8	0,7
Wody <i>Water</i>	2	9,3	8,3	1,0	Wody <i>Water</i>	1	8,4	8,4	8,4
SUMA/TOTAL	125	375,9	38,8	0,1	SUMA/TOTAL	219	375,7	39,2	0,1
CORONA 5 VI 1964 skala/scale 1:7500					CORONA 5 VI 1964 skala/scale 1:4200				
Zabudowa <i>Urban areas</i>	53	22,9	2,6	0,1	Zabudowa <i>Urban areas</i>	58	26,9	2,8	0,1
Grunty orne <i>Arable lands</i>	65	48,0	6,0	0,1	Grunty orne <i>Arable lands</i>	65	39,8	3,9	0,0
Łąki <i>Meadows</i>	86	115,1	6,8	0,1	Łąki <i>Meadows</i>	127	124,0	6,8	0,1
Łąki wilgotne <i>Wet meadows</i>	37	145,3	39,4	0,1	Łąki wilgotne <i>Wet meadows</i>	55	147,2	25,5	0,1
Lasy liściaste <i>Deciduous forests</i>	0	0,0			Lasy liściaste <i>Deciduous forests</i>	0	0,0		
Lasy iglaste <i>Coniferous forests</i>	1	1,6	1,6	1,6	Lasy iglaste <i>Coniferous forests</i>	1	0,9	0,9	0,9
Zakrzewienia i zadrzewienia <i>Shrubs</i>	41	16,9	2,2	0,1	Zakrzewienia i zadrzewienia <i>Shrubs</i>	86	16,4	1,4	0,0
Drogi <i>Roads</i>	1	16,8	16,8	16,8	Drogi <i>Roads</i>	1	13,1	13,1	13,1
Wody <i>Water</i>	1	8,7	8,7	8,7	Wody <i>Water</i>	2	8,1	7,7	0,4
SUMA/TOTAL	285	375,3	39,4	0,1	SUMA/TOTAL	395	376,4	25,5	0,0

powej. Duża jest także różnica w powierzchniach wydzieleni dla klasy 7 — zadrzewienia i zakrzewienia. Jest to związane z małym zróżnicowaniem pomiędzy obszarami zadrzewionymi i wilgotnymi łąkami oraz terenami leśnymi. Największa zgodność w wydzieleniach występuje dla klasy zabudowa. Nie ma problemu w wydzieleniu tej klasy. Duża zgodność występuje też dla łąk wilgotnych.

Skala ok. 1:10 000. Na zdjęciu lotniczym wydzielono 218 obiektów należących do 25 kategorii, natomiast na zdjęciu satelitarnym wydzielono 219 obiektów należących do 21 kategorii (ryc. 14). Na zdjęciu satelitarnym nie wyróżniono następujących klas: 23, 43, 53, 92, 93. Korelacja powierzchni klasy pokrycia terenu wynosi 0,965, natomiast korelacja liczby obiektów wynosi 0,907 (tab. 1). Największe różnice istnieją między po-

Tabela 1 cd.

Klasa pokrycia terenu <i>Land cover category</i>	Liczba wydzie- leń <i>Object count</i>	Powierz- chnia <i>Area [ha]</i>	max.	min.	Klasa pokrycia terenu <i>Land cover category</i>	Liczba wydzie- leń <i>Object count</i>	Powierz- chnia <i>Area [ha]</i>	max.	min.
Lotnicze/Aerial 1963 skala/scale 1:15000					Lotnicze/Aerial 1963 skala/scale 1:750				
Zabudowa <i>Urban areas</i>	10	29,0	10,4	0,2	Zabudowa <i>Urban areas</i>	36	24,3	4,4	0,1
Grunty orne <i>Arable lands</i>	52	80,0	11,7	0,2	Grunty orne <i>Arable lands</i>	123	67,8	3,9	0,0
Łąki <i>Meadows</i>	34	92,4	19,1	0,3	Łąki <i>Meadows</i>	82	92,8	13,8	0,0
Łąki wilgotne <i>Wet meadows</i>	21	149,5	44,8	0,1	Łąki wilgotne <i>Wet meadows</i>	25	155,6	58,7	0,1
Lasy liściaste <i>Deciduous forests</i>	0	0,0			Lasy liściaste <i>Deciduous forests</i>	3	1,9	1,0	0,2
Lasy iglaste <i>Coniferous forests</i>	0	0,0			Lasy iglaste <i>Coniferous forests</i>	0	0,0		
Zakrzewienia i zadrzewienia <i>Shrubs</i>	18	11,1	1,5	0,1	Zakrzewienia i zadrzewienia <i>Shrubs</i>	43	11,4	2,8	0,0
Drogi <i>Roads</i>	2	0,9	0,9	0,0	Drogi <i>Roads</i>	1	8,0	8,0	8,0
Wody <i>Water</i>	2	13,4	13,2	0,2	Wody <i>Water</i>	9	14,1	13,3	0,0
SUMA	139	376,3	44,8	0,1	SUMA	322	375,9	58,7	0,0
Lotnicze/Aerial 1963 skala/scale 1:10 000					Lotnicze/Aerial 1963 skala/scale 1:4200				
Zabudowa <i>Urban areas</i>	17	24,1	8,7	0,1	Zabudowa <i>Urban areas</i>	159	14,8	1,4	0,0
Grunty orne <i>Arable lands</i>	92	76,8	3,7	0,1	Grunty orne <i>Arable lands</i>	141	77,2	8,1	0,0
Łąki <i>Meadows</i>	47	102,3	21,4	0,0	Łąki <i>Meadows</i>	104	97,0	14,1	0,1
Łąki wilgotne <i>Wet meadows</i>	24	143,5	37,3	0,2	Łąki wilgotne <i>Wet meadows</i>	31	153,4	60,2	0,0
Lasy liściaste <i>Deciduous forests</i>	2	1,4	0,9	0,5	Lasy liściaste <i>Deciduous forests</i>	4	2,5	1,0	0,2
Lasy iglaste <i>Coniferous forests</i>	0	0,0			Lasy iglaste <i>Coniferous forests</i>	0	0,0		
Zakrzewienia i zadrzewienia <i>Shrubs</i>	30	11,6	3,0	0,1	Zakrzewienia i zadrzewienia <i>Shrubs</i>	58	7,3	1,0	0,0
Drogi <i>Roads</i>	2	2,5	1,9	0,6	Drogi <i>Roads</i>	1	9,4	9,4	9,4
Wody <i>Water</i>	4	13,5	13,0	0,1	Wody <i>Water</i>	9	14,4	13,6	0,0
SUMA/TOTAL	218	375,7	37,3	0,0	SUMA/TOTAL	507	376,0	60,2	0,0

wierzchniami klasy 7 — zadrzewienia i zakrzewienia oraz klasy 8 — drogi. W przypadku klasy 7 jest to interpretowane jako trudności z wyróżnieniem klasy 7 na obrazach satelitarnych, natomiast w przypadku klasy 8 jest to z pewnością efekt dużej różnicy wielkości piksela obu obrazów, co rzutuje na dokładność prowadzenia granic między wydzieleniami. Duże zgodności powierzchni wydzieleni występują dla klasy 4 — łąki wil-

gotne. Klasa ta jest dobrze interpretowalna, szczególnie na zdjęciach satelitarnych. Zgodność powierzchni oraz liczby obiektów klasy 1 — zabudowa jest duża.

Skala ok. 1:7500. Na zdjęciu lotniczym wydzielono 322 obiekty należące do 29 kategorii, natomiast na zdjęciu satelitarnym wydzielono 285 obiektów należących do 21 kategorii (ryc. 15). Korelacja powierzchni klas pokrycia terenu między zdjęciami w tej skali wy-

Tabela 1 cd.

Klasa pokrycia terenu <i>Land cover category</i>	Liczba wydzieleni <i>Object count</i>	Powierzchnia <i>Area [ha]</i>	max.	min.	CORONA	Lotnicze <i>Aerial</i>	Współczynnik korelacji <i>Correlation factor</i>	Korelacja liczby klas <i>Object count correlation</i>
Lotnicze/Aerial 1963 skala/scale 1:2000					1:15 000	1:15 000	0,952	0,973
Zabudowa <i>Urban areas</i>	120	21,5	1,8	0,0	1:10 000	1:10 000	0,965	0,907
Grunty orne <i>Arable lands</i>	161	71,5	4,9	0,0	1:7500	1:7500	0,975	0,863
Łąki <i>Meadows</i>	140	104,3	7,4	0,0	1:4200	1:4200	0,949	0,694
Łąki wilgotne <i>Wet meadows</i>	47	141,8	44,4	0,0	1:15 000	1:2000	0,974	0,873
Lasy liściaste <i>Deciduous forests</i>	2	1,7	0,9	0,8	1:10 000	1:2000	0,968	0,892
Lasy iglaste <i>Coniferous forests</i>	0	0,0			1:7500	1:2000	0,982	0,954
Zakrzewienia i zadrzewienia <i>Shrubs</i>	73	9,8	1,1	0,0	1:4200	1:2000	0,968	0,832
Drogi <i>Roads</i>	3	11,0	10,9	0,0				
Wody <i>Water</i>	13	14,2	13,4	0,0				
SUMA/TOTAL	559	375,8	44,4	0,0				

nosi 0,975, natomiast liczby obiektów: 0,863 (tab. 1). Największe różnice powierzchni występują w klasach: 2 — grunty orne, 8 — drogi, 9 — wody. Niezła jest zgodność między wydzieleniami klasy 7 — zadrzewienia i zakrzewienia. Prawdopodobnie w tej skali interpretacji interpretator może wychwycić subtelne różnice tonalne między zakrzewieniami i zadrzewieniami oraz wilgotnymi łąkami z wysoką roślinnością. Pomocne jest też stosowanie kryterium sąsiedztwa, szczególnie z zabudową. Zabudowa jest dobrze interpretowalna, a powierzchnie wydzieleni tej klasy są zbliżone.

Skala ok. 1:4200. Na zdjęciu lotniczym wydzieleno 507 obiektów należących do 31 kategorii, natomiast na zdjęciu satelitarnym tylko 395 wydzieleni należących do 27 kategorii (ryc. 16). Korelacja między powierzchniami wydzieleni wynosi 0,949, natomiast między liczbą obiektów w klasach tylko 0,694 (tab. 1). Wyniki wskazują, że w tej skali na efekt interpretacji wyraźnie wpływa wielkość piksela, tzn. zdjęcia lotnicze mają na tyle mały piksel, że możliwe jest znajdowanie dodatkowych informacji poprzez dalsze powiększanie obrazu, natomiast dla zdjęć satelitarnych programu CORONA skanowanych w rozdzielczości 1700 ppi osiągnięta została granica interpretacji. W tej skali należy spodziewać się dużych rozbieżności między interpretacjami. I rzeczywiście, prawie wszystkie klasy, z wyjątkiem klasy 4 — łąki wilgotne, łatwo interpretowalnej na obu rodzajach zdjęć, wykazują duże rozbieżności zarówno liczby, jak i powierzchni wydzieleni.

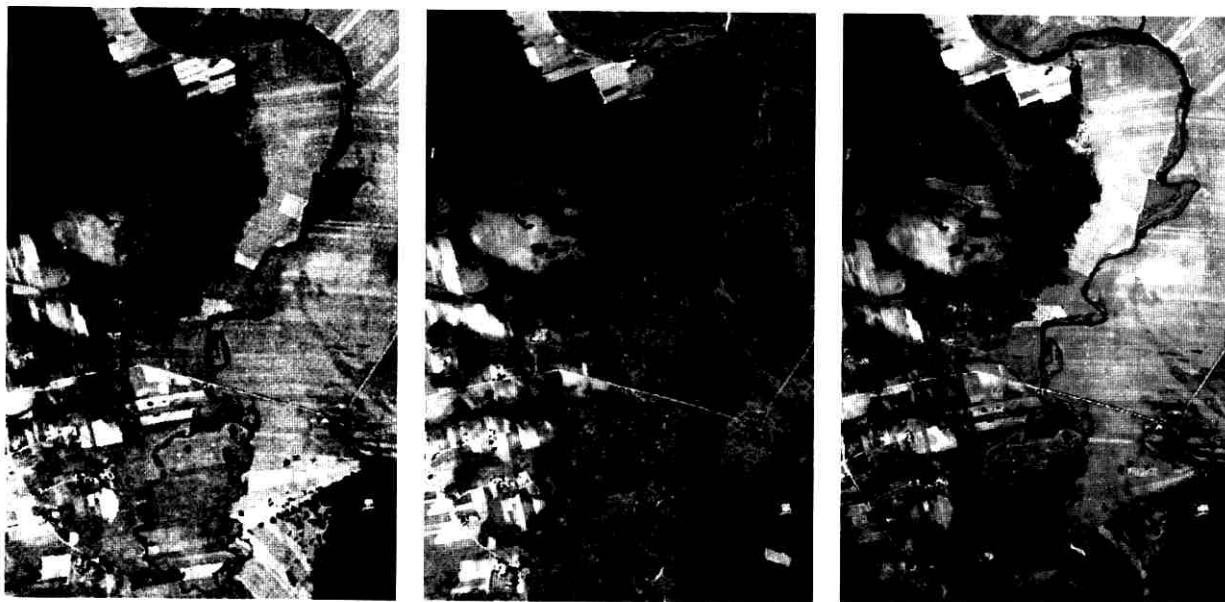
Przeprowadzone badania wskazują, że przy rozdzielczości skanowania 1700 ppi, która wydaje się być optymalna dla średnioskalowych opracowań geograficznych i przyrodniczych, skalami optymalnymi dla interpretacji zdjęć programu CORONA i porównywania ich ze zdjęciami lotniczymi jest skala około 1:15000 lub nieco mniejsza dla opracowań dużych obszarów i skala około 1:7500 (lub nieco większa) do opracowań mniejszych obszarów (ryc. 23). Badania z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych programu CORONA pozwalają na wyróżnianie wielu klas pokrycia i użytkowania terenu (ryc. 24, 25). Bez problemów można interpretować obiekty antropogeniczne, takie jak zabudowa, obszary zniszczone, wyrobiska. Dobrze też wyróżniają się lasy. Istnieje wyraźne rozróżnienie między łąkami a łąkami wilgotnymi. Także wyróżnianie obszarów wodnych i zalanych jest stosunkowo łatwe. Problematyczne jest natomiast odróżnianie zadrzewień i zakrzewień od niewielkich i młodych lasów oraz od wilgotnych łąk ze skupiskami krzewów (ryc. 12).

Możliwe są analizy obiektów liniowych, takich jak drogi i koleje a także struktury i rozdrobnienia użytków rolnych. Natomiast jednoznaczne wyróżnianie pól i łąk wymaga materiałów dodatkowych, gdyż w tych skalach i czerwcowym terminie wykonania zdjęć wyróżnienia te są problematyczne.

Kuligi

Obszar badawczy Kuligi położony jest około 20 km na północ od obszaru Goniądz. Jest to obszar typowo wiejski z rozproszonymi zabudowaniami gospodarskimi, dużym udziałem lasów oraz mozaiką pól i łąk, a także dużymi nadrzeczными obszarami łąk wilgotnych (Kondracki, 1994).

Dla obszaru Kuligi wykonano interpretacje w skali około 1:6000 dla zdjęcia lotniczego z lat 1963/64 oraz dwóch obrazów programu CORONA z czerwca 1964 roku i lipca 1963 roku (ryc. 17). Na tym obszarze przeprowadzono dodatkową analizę zależności „podatności interpretacyjnej” zdjęć satelitarnych od terminu rejestracji (ryc. 26). Wyniki podano w zależności od klas wzdzielen (ryc. 18).



Ryc. 17. Obrazy obszaru badawczego Kuligi: z lewej strony interpretacja obrazu satelity CORONA zarejestrowanego 19 lipca 1963 r., w środku interpretacja obrazu satelity CORONA zarejestrowanego 6 czerwca 1964 r., po prawej stronie interpretacja zdjęcia lotniczego z 1963 r.

Fig. 17. Kuligi test field: CORONA July 19, 1963 (left); CORONA June 6, 1964 (center); aerial image from 1963 (right).

Zabudowa: zgodności między zdjęciem lotniczym a zdjęciami satelitarnymi są wysokie i potwierdza to tylko uprzednie spostrzeżenia (tab. 2).

Grunty orne: w tym przypadku duże zgodności rejestrowane są również w przypadku gruntów ornych, co jest zapewne wynikiem ich wyraźnego umiejscowienia w otoczeniu zabudowy. Przy takim położeniu gruntów ornych, w określonym otoczeniu (a nie na praktycznie całej powierzchni badanej, jak w przypadku obszaru Goniądz) bardzo pomaga kryterium sąsiedztwa, nawet stosowane w tej skali.

Łąki: istnieje spora zgodność między zdjęciem lotniczym a zdjęciem satelitarnym z 1964 r. Powierzchnia łąk wyinterpretowana i pomierzona na zdjęciu satelitarnym z 1963 r. jest jednak znacznie wyższa. Jest to skorelowane ze znacznym zmniejszeniem powierzchni

łąk wilgotnych na tym zdjęciu względem pozostałych. Dla łąk wilgotnych zgodność wyników zdjęć lotniczego oraz satelitarnego z 1964 r. jest wysoka (tab. 2). Należy zwrócić uwagę, że suma powierzchni dla klas 3 — łąki i 4 — łąki wilgotne dla wszystkich trzech zdjęć jest podobna. Może to być spowodowane zmianami sezonowymi, gdy na zdjęciu czerwcowym (1964 r.) łąki są jeszcze nawodnione po wiosennych podtopieniach, natomiast zdjęcie lipcowe (1963 r.) pokazuje łąki już po odprowadzeniu nadmiaru wody.

Lasy liściaste: w przypadku lasów liściastych istnieje bardzo dobra zgodność dla wszystkich trzech zdjęć. Nie wyróżniono klasy lasów iglastych.

Zadrzewienia i zakrzewienia: podobnie jak na obszarze badawczym Goniądz także i tutaj ta klasa sprawia wiele problemów. Utrudnione jest rozróżnienie

zadrzewień i zakrzewień od rozluźnionych i młodych lasów (ryc. 19). Należy jedynie zwrócić uwagę na dobrą zgodność powierzchni tej klasy pomiędzy obydwojoma zdjęciami programu CORONA.

Drogi: zgodność jest duża. Należy zwrócić uwagę, że zastosowana skala (ok. 1:6000) pozwoliła na zmniejszenie różnic powierzchni dróg między zdjęciem lotniczym a satelitarnymi dzięki zwiększeniu precyzji stawiania granic.

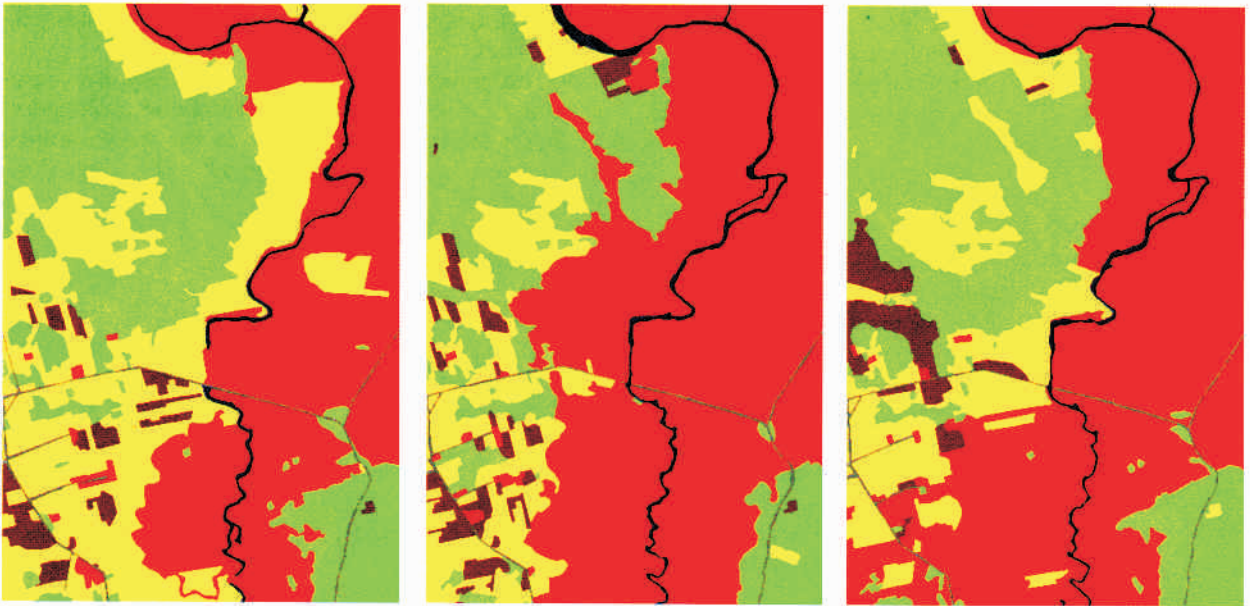
Wody: dobrze interpretowalne, przy czym powierzchnia tej klasy na czerwcowym zdjęciu satelitarnym jest większa od zdjęcia satelitarnego lipcowego, co zdaje się potwierdzać opisane wyżej przypuszczenia.

Badania na tym obszarze pozwoliły na potwierdzenie wcześniejszych ocen dotyczących wyróżniania elementów środowiska geograficznego oraz wskazały na

Tabela 2. Porównanie wydzieleni oraz współczynniki korelacji dla obszaru badawczego Kuligi
Categories and correlation factors in Kuligi test field

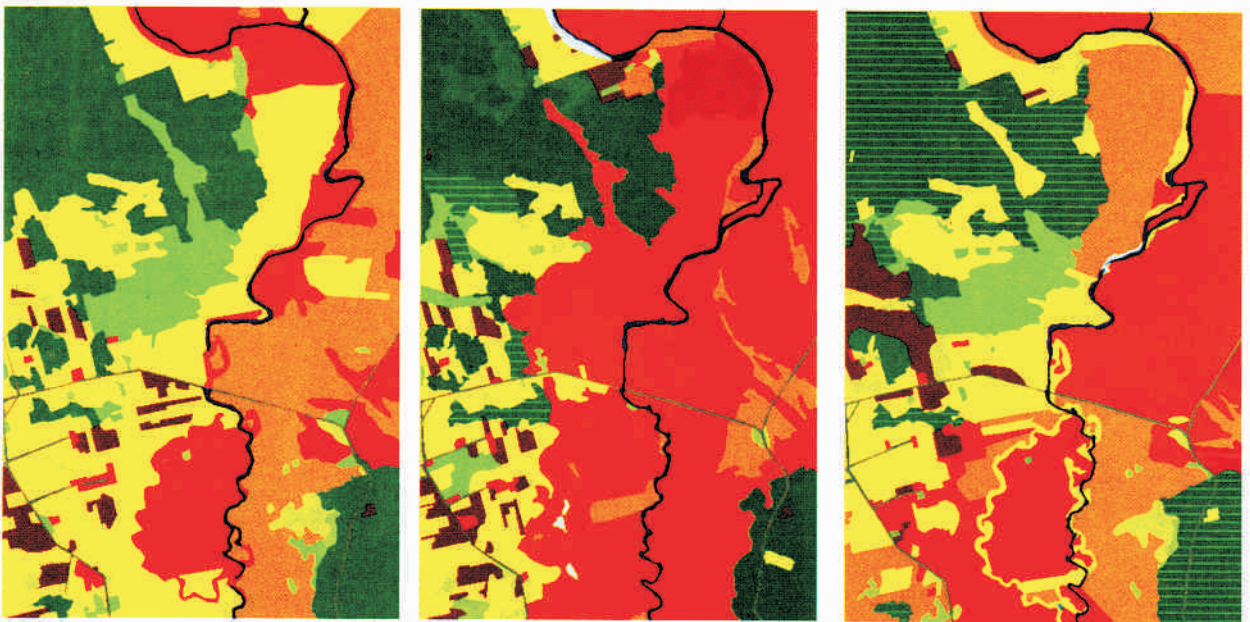
Klasa pokrycia terenu <i>Land cover category</i>	Liczba wydzieleni <i>Object count</i>	Powierzchnia <i>Area [ha]</i>	max.	min.	Klasa pokrycia terenu <i>Land cover category</i>	Liczba wydzieleni <i>Object count</i>	Powierzchnia <i>Area [ha]</i>	max.	min.
CORONA 5 VI 1964 skala/scale 1:6000					Lotnicze/Aerial 1963 skala/scale 1:6000				
Zabudowa <i>Urban areas</i>	13	2,6	0,6	0,1	Zabudowa <i>Urban areas</i>	12	2,4	0,7	0,1
Grunty orne <i>Arable lands</i>	28	17,5	2,7	0,0	Grunty orne <i>Arable lands</i>	13	17,2	5,1	0,2
Łąki <i>Meadows</i>	35	62,9	12,0	0,1	Łąki <i>Meadows</i>	56	73,5	9,5	0,1
Łąki wilgotne <i>Wet meadows</i>	38	254,2	57,9	0,1	Łąki wilgotne <i>Wet meadows</i>	62	227,7	58,4	0,0
Lasy liściaste <i>Deciduous forests</i>	18	101,7	35,2	0,2	Lasy liściaste <i>Deciduous forests</i>	10	101,5	69,3	0,7
Lasy iglaste <i>Coniferous forests</i>	0	0,0			Lasy iglaste <i>Coniferous forests</i>	0	0,0		
Zakrzewienia i zadrzewienia <i>Shrubs</i>	31	11,7	2,6	0,0	Zakrzewienia i zadrzewienia <i>Shrubs</i>	40	30,9	17,5	0,0
Drogi <i>Roads</i>	1	3,7	3,7	3,7	Drogi <i>Roads</i>	1	3,5	3,5	3,5
Wody <i>Water</i>	3	7,7	5,0	1,1	Wody <i>Water</i>	5	6,1	4,6	0,0
SUMA/TOTAL	167	462,0	57,9	0,0	SUMA/TOTAL	199	462,8	69,3	0,0
CORONA 1963 skala/scale 1:6000					CORONA 1963 skala/scale 1:6000				
Zabudowa <i>Urban areas</i>	8	3,1	1,1	0,1	Zabudowa <i>Urban areas</i>	8	3,1	1,1	0,1
Grunty orne <i>Arable lands</i>	17	14,3	1,2	0,0	Grunty orne <i>Arable lands</i>	17	14,3	1,2	0,0
Łąki <i>Meadows</i>	48	137,9	32,6	0,1	Łąki <i>Meadows</i>	48	137,9	32,6	0,1
Łąki wilgotne <i>Wet meadows</i>	34	159,5	54,4	0,1	Łąki wilgotne <i>Wet meadows</i>	34	159,5	54,4	0,1
Lasy liściaste <i>Deciduous forests</i>	12	102,6	70,1	0,1	Lasy liściaste <i>Deciduous forests</i>	12	102,6	70,1	0,1
Lasy iglaste <i>Coniferous forests</i>	0	0,0			Lasy iglaste <i>Coniferous forests</i>	0	0,0		
Zakrzewienia i zadrzewienia <i>Shrubs</i>	38	35,3	22,7	0,1	Zakrzewienia i zadrzewienia <i>Shrubs</i>	38	35,3	22,7	0,1
Drogi <i>Roads</i>	1	3,9	3,9	3,9	Drogi <i>Roads</i>	1	3,9	3,9	3,9
Wody <i>Water</i>	3	5,3	3,6	0,2	Wody <i>Water</i>	3	5,3	3,6	0,2
SUMA/TOTAL	161	461,9	70,1	0,0	SUMA/TOTAL	161	461,9	70,1	0,0

		Współcz. korelacji <i>Correlation factor</i>	Korelacja liczby klas <i>Object count correlation</i>
CORONA 1964 1:6000	lotnicze/aerial 1963 1:6000	0,994	0,890
CORONA 1964 1:6000	CORONA 1963 1:6000	0,858	0,918
CORONA 1963 1:6000	lotnicze 1963 1:6000	0,896	0,939



Ryc. 18. Interpretacja pokrycia terenu obszaru badawczego Kuligi: z lewej strony interpretacja obrazu satelity CORONA zarejestrowanego 19 lipca 1963 r., w środku interpretacja obrazu satelity CORONA zarejestrowanego 6 czerwca 1964 r., po prawej stronie interpretacja zdjęcia lotniczego z 1963 r.

Fig. 18. Land cover of Kuligi test field: CORONA July 19, 1963 (left); CORONA June 6, 1964 (center); aerial image from 1963 (right).



Ryc. 19. Interpretacja użytkowania terenu obszaru badawczego Kuligi: z lewej strony interpretacja obrazu satelity CORONA zarejestrowanego 19 lipca 1963 r., w środku interpretacja obrazu satelity CORONA zarejestrowanego 6 czerwca 1964 r., po prawej stronie interpretacja zdjęcia lotniczego z 1963 r.

Fig. 19. Land use of Kuligi test field: CORONA July 19, 1963 (left); CORONA June 6, 1964 (center); aerial image from 1963 (right).

różnice między interpretacjami zdjęć wykonanych w różnych terminach. Wydaje się ponadto, że termin czerwcowy jest ogólnie trudniejszy w interpretacji w związku z trudnością wyróżnienia formacji krzewiastych i łąk wilgotnych.

Zegrze

Obszar badawczy Zegrze położony jest na terenie obecnego Zalewu Zegrzyńskiego, około 40 km na północ od Warszawy. Dla tego obszaru znaleziono materiały o rozpiętości czasowej 40 lat: zdjęcie satelitarne programu CORONA z 1961 r. oraz barwne zdjęcie lotnicze z 2001 r. Jednocześnie obszar ten w okresie 40 lat przeszedł zasadniczą zmianę poprzez wybudowanie w połowie lat sześćdziesiątych zbiornika na Narwi w Dębem (ryc. 20), na zachód od badanego terenu (Kondracki, 1994). Na tym obszarze badawczym postanowiono po raz kolejny przeanalizować przydatność zdjęć satelitarnych programu CORONA do badań przyrodniczych (ryc. 21) oraz dodatkowo wykonać przykładową analizę zmian środowiska w okresie 40-letnim (ryc. 22). Wyniki analiz uporządkowano według klas pokrycia terenu (ryc. 27) (tab. 3).

Zabudowa: podobnie jak w przypadkach poprzednich, wydzielenie zabudowy nie stanowi problemu, problematyczne może być jedynie rozróżnianie rodzajów zabudowy, ze względu na ich charakter i funkcję.

Przy wykorzystaniu stosunkowo dużej skali interpretacji (około 1:6000) jest to jednak możliwe.

Grunty orne: na tym obszarze grunty orne zgrupowane są w południowej części, w okolicach Nieporętu. Ich wyróżnienie nie stanowiło większego problemu ze względu na jednoznaczne umiejscowienie (kryterium sąsiedztwa).

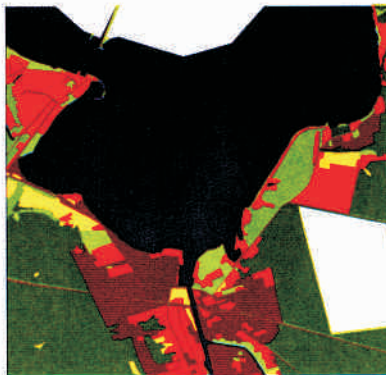
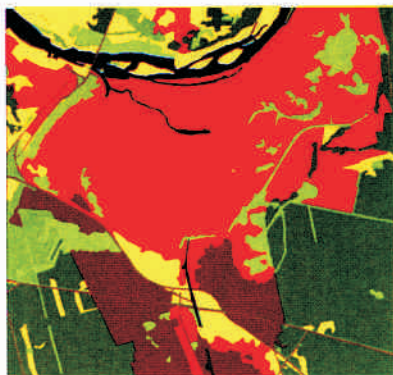
Łąki: brak większych problemów w wyróżnianiu, zmiany wynikają z rozwoju zabudowy.

Łąki wilgotne: bardzo wyraźnie widoczne na zdjęciach satelitarnych z 1961 r. Na zdjęciu lotniczym z 2001 r. praktycznie cały ich obszar został zalany spiętrzonymi wodami Narwi.

Lasy liściaste i iglaste: w tym przypadku była sposobność sprawdzenia możliwości wydzielenia rodzajów drzewostanów, gdyż wydzielono lasy zarówno iglaste jak i liściaste (tab. 3). Analizy wykazały, że możliwe jest wydzielenie rodzajów lasów ze stosunkowo dużą precyzją.

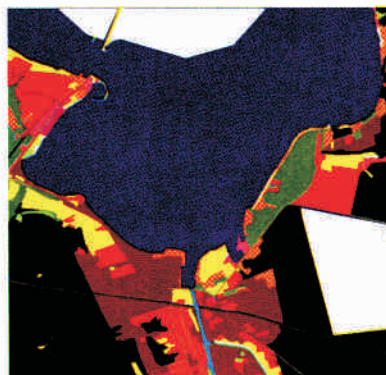
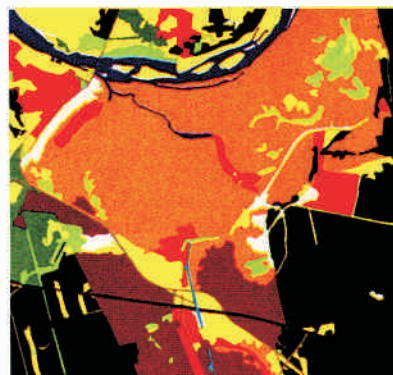
Zadrzewienia i zakrzewienia: podobnie jak w poprzednich przykładach powierzchnia tej klasy na zdjęciach satelitarnych jest większa i interpretacja tych różnic jest taka sama. Dodatkowo na tym obszarze w wyniku wchodzą zmniejszenie powierzchni zadrzewień i zakrzewień w wyniku rozwoju zabudowy, w tym zabudowy rekreacyjnej.

Drogi: zgodność jest duża i wynika ze stosunkowo dużej skali opracowania.



Ryc. 20. Interpretacja pokrycia terenu obszaru badawczego Zegrze: po lewej interpretacja obrazu satelity CORONA z 30 sierpnia 1961 r., po prawej interpretacja obrazu lotniczego z sierpnia 2001 r.

Fig. 20. Land cover of Zegrze test field: CORONA, August 30, 1961 (left); aerial image, August 2001 (right).

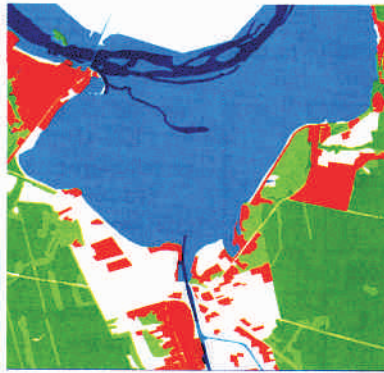


Ryc. 21. Interpretacja użytkowania terenu obszaru badawczego Zegrze: po lewej interpretacja obrazu satelity CORONA z 30 sierpnia 1961 r., po prawej interpretacja obrazu lotniczego z sierpnia 2001 r.

Fig. 21. Land use of Zegrze test field: CORONA, August 30, 1961 (left); aerial image, August 2001 (right).

Ryc. 22. Przykładowe analizy wykonane na podstawie interpretacji obrazów obszaru badawczego Zegrze: obraz lewy przedstawia zmiany pokrycia terenu dla trzech komponentów przestrzeni geograficznej: lasów, wód i zabudowy. Obraz prawy przedstawia interpretację zabudowy oraz zasięgu jej oddziaływania dla roku 1961 jako strefy w odległości 50 i 200 m od granic zabudowy.

Fig. 22. Example analysis of Zegrze test field: land cover changes of residential, waters and forests (left); residential influence buffer (50 and 200 m) on CORONA imagery (August 1961).



Wody: największe różnice w obrazie na obu zdjęciach, co wynika z utworzenia zbiornika zaporowego.

Badania na tym obszarze potwierdziły wszystkie dotychczasowe ustalenia i pozwoliły dodatkowo określić możliwość wydzielenia różnych rodzajów lasów: iglaste i liściaste. Ta informacja skłania do poglądu, że z wyjątkiem wydzielenia zadrzewień i zakrzewień oraz różnicowania gruntów ornych i łąk, na dużych i jednorodnych obszarach rolniczych zdjęcia satelitarne programu CORONA pozwalają na badanie środowiska geograficznego w skalach średnich i dużych.

Możliwe zastosowania

Jednym z celów niniejszej pracy jest określenie możliwych zastosowań zdjęć wykonanych w programie CORONA. Będzie to z konieczności raczej zbiór propozycji niż rozbudowana analiza, która wymagałaby specjalistycznych badań. Oparta ona będzie na dotychczasowych wynikach analiz jakości obrazów oraz możliwości wyróżniania rozmaitych komponentów środowiska geograficznego. Zdjęcia satelitarne programu CORONA mogą być wykorzystywane do następujących badań.

Badania pokrycia i użytkowania terenu: podstawowe zastosowania danych teledetekcyjnych. Badania pokrycia i użytkowania terenu pozwalają określić stan środowiska geograficznego w różnych skalach oraz, poprzez porównywanie kilku przekrojów czasowych, określić zmiany zachodzące w środowisku. Jest to jeden z elementów monitoringu środowiska przyrodniczego. Dotychczasowe analizy obrazów zarejestrowanych w programie CORONA wykorzystywały narzędzia stosowane w badaniach pokrycia/użytkowania terenu. Można więc z dużym przekonaniem stwierdzić, że dane satelitarne programu CORONA nadają się do prowadzenia analiz pokrycia terenu w skalach małych, średnich i dużych (ryc. 22), oraz w nieco mniejszym stopniu nadają się do analiz użytkowania terenu, głównie ze względu na problematyczne wyróżnianie różnych typów upraw (co wymaga dodatkowych danych terenowych lub obrazowych materiałów pomocniczych).

Badania wilgotności łąk: dotychczasowe badania wskazywały jednoznacznie na łatwą wyróżnialność

łąk wilgotnych i podmokłych (ryc. 12). Ta cecha umożliwia, dzięki stosunkowo dużej liczbie zobrazowań powierzchni Polski i ich odstępie czasowym od kilku dni do maksymalnie 2–3 lat, prowadzenie analiz zmiany wilgotności łąk. Jak pokazały badania, możliwe jest wyróżnienie nawet 5–6 stopni wilgotności łąk. Takie zastosowanie wymaga jednak kalibracji metody, tzn. określenia, jak obrazowane są łąki o określonej wilgotności. Może to wymagać szczegółowych danych z pomiarów naziemnych w latach 60. Problemem może być jedynie wyróżnianie wilgotności łąk na obszarach pokrytych kępami krzewów, które nie są łatwo wyróżnialne. Jednak zastosowanie innych zdjęć lub map może pozwolić na wyróżnienie takich obszarów i bardziej pewną interpretacją danych programu CORONA.

Leśnictwo: zdjęcia satelitarne programu CORONA skanowane w rozdzielczości ok. 1700 ppi i interpretowane w skali ok. 1:7500 umożliwiają wyróżnienie lasów (ich granic), możliwe jest także różnicowanie drzewostanów liściastych od iglastych. Problematyczne jest rozróżnianie wysokości i wieku drzewostanów oraz odróżnianie niewysokich lasów od zwartych zadrzewień i zakrzewień. Problemy te znikają przy analizach zdjęć skanowanych w wyższych rozdzielczościach, rzędu 4000 ppi lub 5000 ppi (dla KH-4B). Przy analizach zdjęć satelitów generacji KH-4B możliwe jest także prawdopodobnie wyróżnianie konkretnych gatunków budujących drzewostan. Wymaga to dodatkowych opracowań. Tak więc zdjęcia satelitarne programu CORONA mogą być wykorzystywane w leśnictwie, jednak konieczna jest wysoka rozdzielczość skanowania i właściwy dobór obrazów (istotne jest niewielkie rozmycie obiektów). Dodatkowo możliwe jest wykorzystanie cechy późniejszych misji satelitów CORONA jaką jest dostarczanie par zdjęć, umożliwiających stereoskopową ich interpretację.

Hydrologia: jednymi z ważniejszych badań, w których wykorzystywane są obrazy lotnicze (i satelitarne) są badania hydrologiczne i hydrograficzne (ryc. 12). Dotyczą one często zagospodarowania całych zlewni oraz dolin rzek. Jednak dane satelitarne mają często zbyt małą rozdzielczość geometryczną, a zdjęcia lotnicze nie są równoczesne, tzn. nie obrazują całej zlewni w jednym momencie, czy jednego dnia. Natomiast

Tabela 3. Porównanie kategorii oraz współczynniki korelacji dla obszaru badawczego Zegrze
Land cover category differences and correlation factors in Zegrze test field

Klasa pokrycia terenu <i>Land cover category</i>	Liczba wydzieleni <i>Object count</i>	Powierzchnia <i>Area [ha]</i>	max.	min.
CORONA 1961		skala/scale 1:6000		
Zabudowa <i>Urban areas</i>	9	98,9	28,9	0,4
Grunty orne <i>Arable lands</i>	8	228,5	68,4	0,8
Łąki <i>Meadows</i>	54	213,0	30,4	0,0
Łąki wilgotne <i>Wet meadows</i>	10	724,8	648,6	0,9
Lasy liściaste <i>Deciduous forests</i>	6	61,0	21,5	1,1
Lasy iglaste <i>Coniferous forests</i>	26	516,7	205,7	0,1
Zakrzewienia i zadrzewienia <i>Shrubs</i>	72	169,5	19,2	0,1
Drogi <i>Roads</i>	12	35,0	10,3	0,2
Wody <i>Water</i>	5	78,1	53,4	1,2
SUMA/TOTAL	202	2125,5	648,6	0,0
Lotnicze/Aerial 2001		skala/scale 1:6000		
Zabudowa <i>Urban areas</i>	68	201,5	32,4	0,1
Grunty orne <i>Arable lands</i>	14	188,2	36,1	0,2
Łąki <i>Meadows</i>	16	37,7	17,1	0,1
Łąki wilgotne <i>Wet meadows</i>	3	1,8	0,8	0,3
Lasy liściaste <i>Deciduous forests</i>	8	64,3	42,4	0,9
Lasy iglaste <i>Coniferous forests</i>	13	447,0	144,7	0,9
Zakrzewienia i zadrzewienia <i>Shrubs</i>	34	50,8	10,3	0,1
Drogi <i>Roads</i>	6	31,9	11,1	0,8
Wody <i>Water</i>	16	872,2	787,7	0,2
Niesklasyfikowane <i>Other areas</i>	3	230,7	131,3	16,5
SUMA/TOTAL	181	2126,1	787,7	0,1
		Współcz. korelacji <i>Correlation factor</i>	Korelacja liczby klas <i>Object count correlation</i>	
CORONA 1961 1:6000	Lotnicze/Aerial 2001 1:6000	-0,118	0,156	

zdjęcia satelitarne programu CORONA przy stosunkowo dużej rozdzielczości geometrycznej sięgającej 2 metrów pozwalają na zobrazowanie prawie połowy powierzchni Polski w ciągu kilkunastu minut. Dodatkowo możliwe są analizy wysokościowe, gdyż misje KH-4A i KH-4B posiadały podwójne kamery umożliwiające tworzenie obrazów stereoskopowych.

Geomorfologia: badania geomorfologiczne wymagają operowania danymi przestrzennymi w postaci numerycznych modeli terenu. Zdjęcia programu CORONA z satelitów serii KH-4A i KH-4B wykonywały zdjęcia równocześnie dwiema kamerami, odchylonymi od pionu, każda o kąt 15°. Pozwala to na wykonanie ortofotomapy i modelu wysokościowego oraz nałożenie ich na siebie. Daje to geomorfologom narzędzie analiz rzeźby. Tak więc zdjęcia satelity CORONA mogą być potencjalnie przydatne do badań geomorfologicznych.

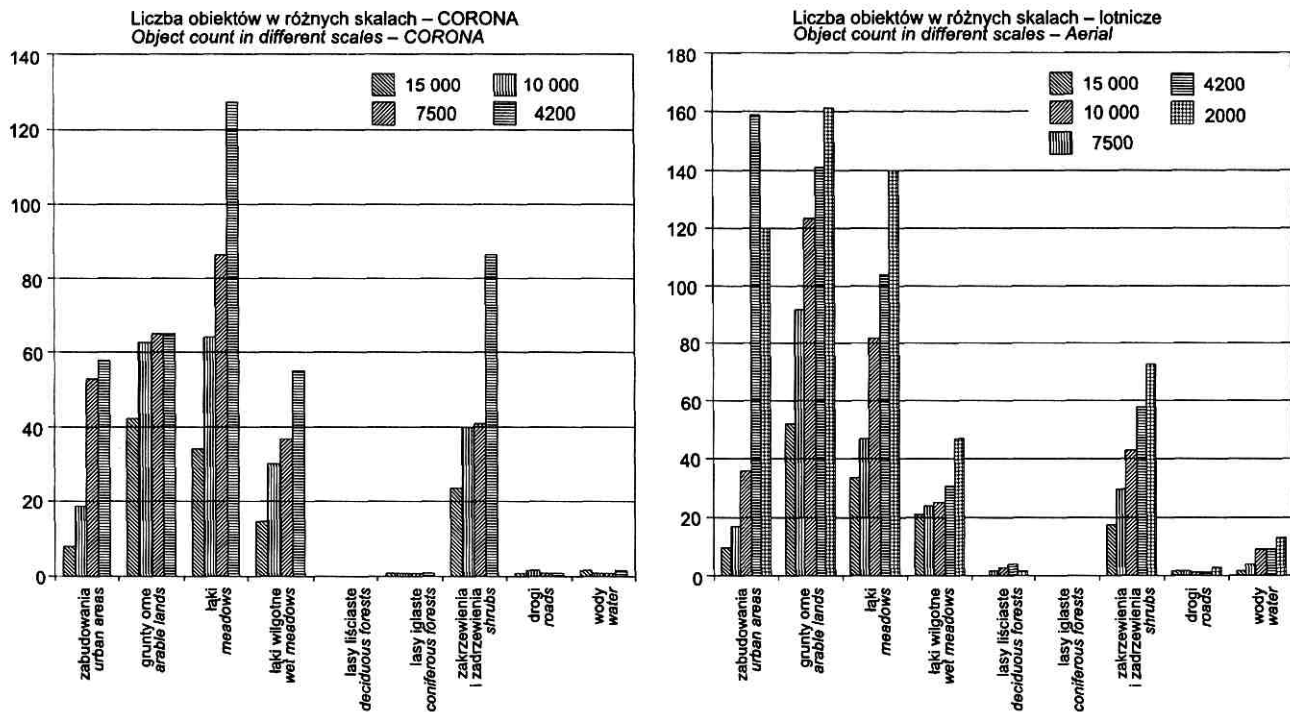
Geologia: w zakresie badań geologicznych powierzchni Polski nie wydaje się, aby badane zdjęcia stanowiły jakąś atrakcyjną alternatywę. Jedyne dla badań tektonicznych (analiza lineamentów) istotne może być wykorzystywanie pojedynczych zdjęć obejmujących duże powierzchnie terenu z wysoką rozdzielczością przestrzenną. Kapitalne znaczenie mają jednak analizowane zdjęcia w badaniach struktur tektonicznych i sedymentacyjnych na obszarach niezamieszkałych, nie pokrytych nalotami fotogrametrycznymi, dla których mogą być pierwszymi zarejestrowanymi obrazami. Zdjęcia programu CORONA mogą umożliwić historyczne badania obszarów np. Azji Środkowej czy Afryki Środkowej i Północnej.

Badania ekologiczne: ekologia zajmuje się interakcjami między organizmami a środowiskiem oraz między samymi organizmami. Ekologia zajmuje się też badaniami geograficznymi, opisując istniejące korytarze ekologiczne i bariery migracji organizmów. Dzięki dużej rozdzielczości przestrzennej i terminom wykonania zdjęć (1960–1972) zdjęcia programu CORONA mogą oddać nieocenione usługi w badaniach stanu układów ekologicznych i ich zmian.

Fitosocjologia: w badaniach rozmieszczenia płatów roślinności, ich zróżnicowania oraz zmian wykorzystywane są czasem materiały teledetekcyjne (Faliński, 2002). Zdjęcia programu CORONA mogą stanowić materiał wspomagający w badaniach fitosocjologicznych obejmujących duże obszary, jednak dużym ograniczeniem jest tu szeroki, panchromatyczny zakres spektralny zdjęć.

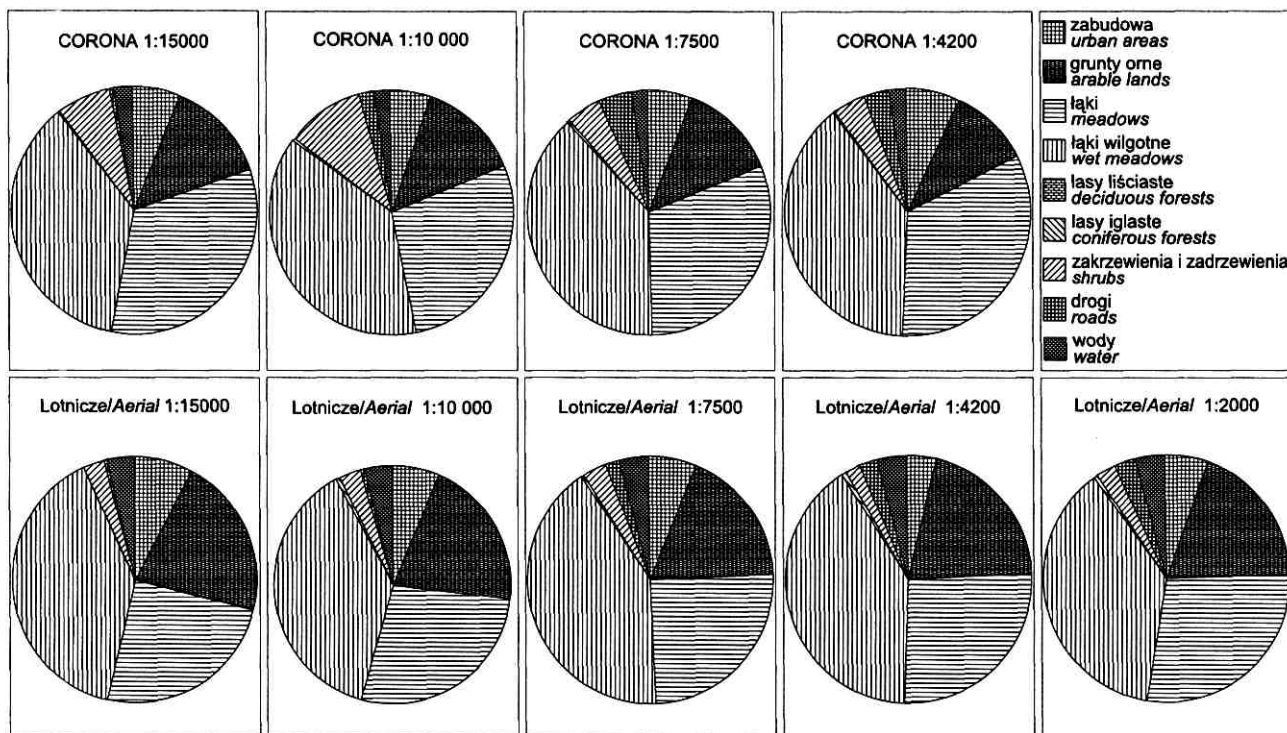
Inne dziedziny: możliwe jest oczywiście zastosowanie zdjęć programu CORONA w badaniach presji antropogenicznej, rozwoju obszarów zurbanizowanych, rozwoju sieci komunikacyjnej, osiedleńczej, atrakcyjności rekreacyjnej i innych. W większości przypadków możliwe zastosowania będą odpowiadały zastosowaniom zdjęć lotniczych w skalach średnich i dużych. Wachlarz tych zastosowań jest bardzo szeroki.

Badania transgraniczne: Jednym z zastosowań, w których objawia się duża przewaga zdjęć sa-



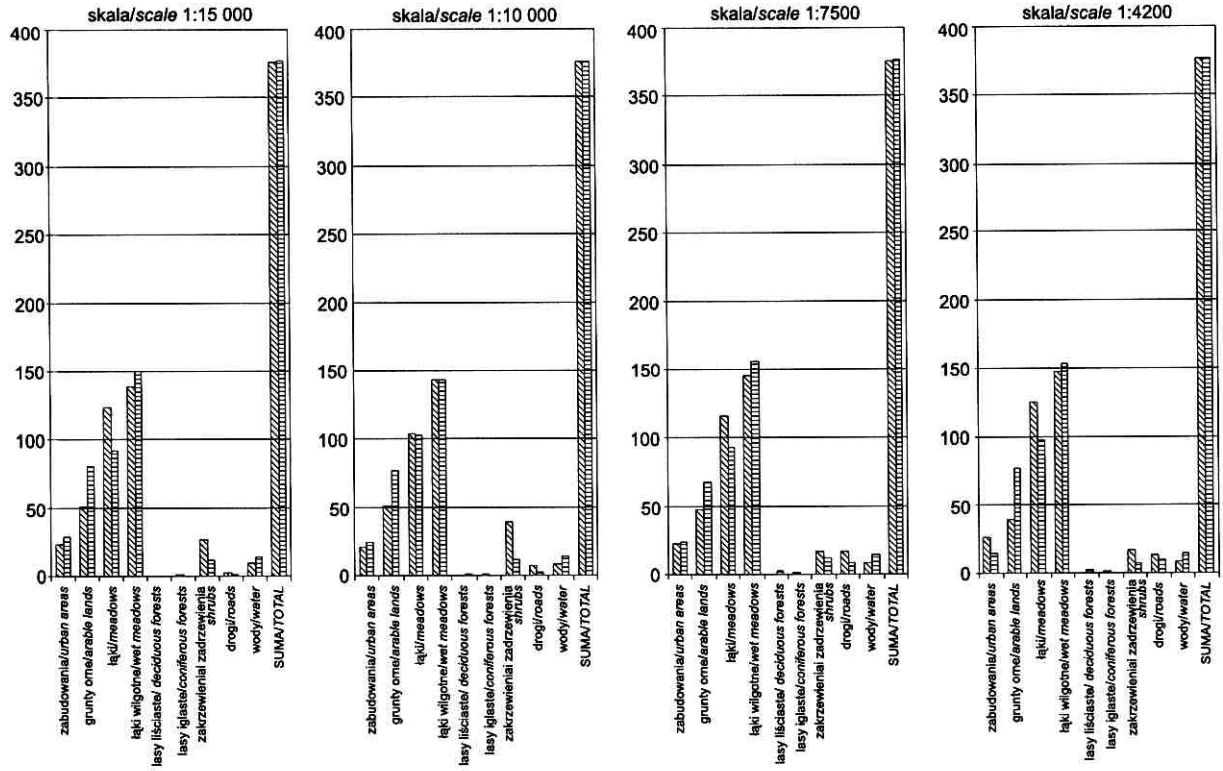
Ryc. 23. Liczba obiektów dla obszaru badawczego Goniądz w różnych skalach interpretacji.

Fig. 23. Object count in different interpretation scales for Goniądz test field.



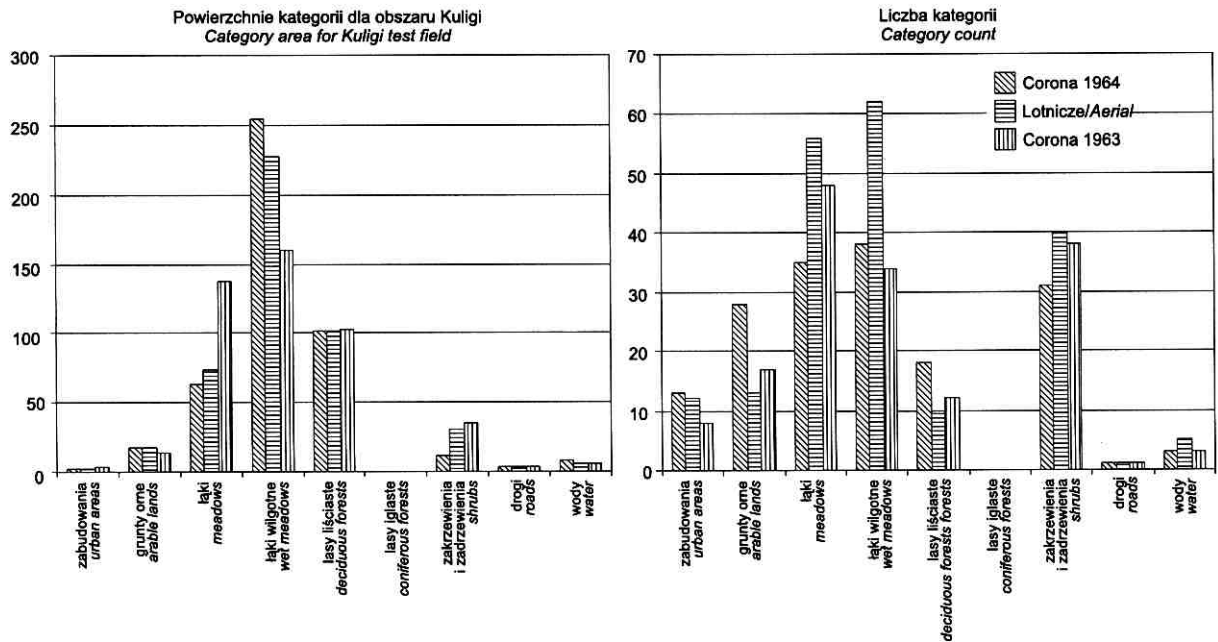
Ryc. 24. Powierzchnie kategorii pokrycia terenu według skal dla obszaru badawczego Goniądz.

Fig. 24. Land cover categories areas in different interpretation scales for Goniądz test field.



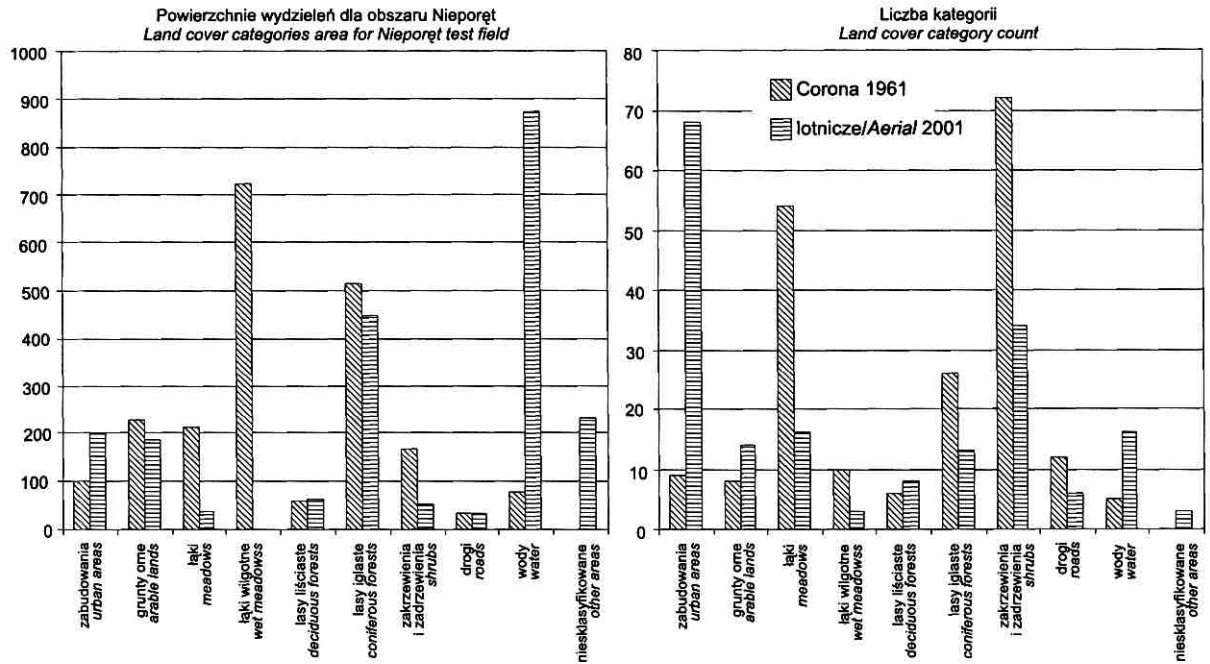
Ryc. 25. Powierzchnie kategorii pokrycia terenu obszaru badawczego Goniądz dla różnych skal interpretacji.

Fig. 25. Land cover categories areal in different interpretation scales for Goniądz test field.



Ryc. 26. Porównanie kategorii pokrycia terenu dla obszaru badawczego Kuligi.

Fig. 26. Land cover category differences for Kuligi test field.



Ryc. 27. Porównanie kategorii pokrycia terenu dla obszaru badawczego Nieporęt.

Fig. 27. Land cover category differences in Nieporęt test field.

telitarnych programu CORONA, jest badanie obszarów przygranicznych. Badania historyczne obszarów przygranicznych były dotychczas na obszarach państw byłego Bloku Wschodniego i niektórych innych państw bardzo utrudnione, co wynikało z niewykonywania jednolitych lotniczych zobrazowań transgranicznych. Okolice przygraniczne były zawsze szczególnie chronione, więc nierzadko zdjęcia obszarów przygranicznych były utajnione. Jednocześnie brak było równoczesnych zobrazowań po obu stronach granicy. Dostępne są jedynie stare zdjęcia satelitarne, jednak dopiero od 1972 r. (Landsat 1) i w niezadowalającej rozdzielczości terenowej. Natomiast zdjęcia wykonane przez satelity programu CORONA w latach 1960–1972 obejmują obszary po obu stronach granicy i są wykonane w wysokiej rozdzielczości terenowej sięgającej 2 m. Możliwe staje się wreszcie badanie np. przygranicznych układów ekologicznych. Zastosowanie zdjęć programu CORONA w badaniach ekologicznych obszarów przygranicznych może przynieść duże korzyści, umożliwiając ocenę stanu środowiska po obu stronach granicy na podstawie **jednego** zdjęcia w wysokiej rozdzielczości. Było to dotychczas niemożliwe.

Wnioski końcowe

Na zakończenie należy podsumować wyniki analiz i wnioski z nich wynikające. Zostaną tutaj podkreślone te cechy, które są najistotniejsze dla użytkowników zdjęć satelitarnych wykonanych podczas programu CORONA.

Materiały satelitarne programu CORONA po ich

odtajnieniu w lutym 1995 r. przez prezydenta USA zostały udostępnione i można je zamawiać przez internet w cenie około 18 USD za negatyw wtórny. Całkowita liczba udostępnionych negatywów sięga 860 000, które pokrywają w sumie prawie 2 mld km² powierzchni Ziemi, zwłaszcza terytorium państw byłego Bloku Wschodniego, Chin i innych państw istotnych dla polityki zagranicznej i wojskowej USA w latach 60. i początku lat 70. Zdjęcia wykonywane były w latach 1960–1972 na filmie negatywowym panchromatycznym z rozdzielczością terenową od 15 do 2 metrów.

W przypadku Polski dostępnych jest kilka tysięcy zdjęć pokrywających praktycznie całe terytorium kraju. Często jeden przelot nad naszym krajem dostarczał zdjęcia pokrywające prawie połowę jego powierzchni. Dla niektórych obszarów możliwe jest zamówienie kilku zdjęć w terminach co rok/dwa lata, co w przypadku zdjęć lotniczych jest bardzo rzadko spotykane.

Jakość zdjęć jest wysoka, szczególnie zdjęcia ostatniej generacji (KH-4B) dostarczają znakomitych zdjęć porównywalnych bezpośrednio ze zdjęciami lotniczymi.

Przy zamianie danych analogowych w postaci negatywów na obrazy cyfrowe konieczne jest wykorzystanie dobrych skanerów w celu bezstratnego przeniesienia informacji. Przeprowadzone analizy wykazały, że do przeniesienia kompletu informacji zawartej na zdjęciach satelitów serii KH-4B na postać cyfrową konieczne jest skanowanie z rozdzielczością optyczną sięgającą 5000 ppi.

Opisywane materiały zdjęciowe charakteryzują się dużą pojemnością informacyjną pozwalającą wykorzystywać je w różnorodnych badaniach środowiska geo-

graficznego na potrzeby takich dziedzin jak geografia, hydrologia, geomorfologia, geologia, nauki rolnicze, ekologia, planowanie przestrzenne, leśnictwo i inne.

Materiały zdjęciowe programu CORONA są szczególnie przydatne w badaniach transgranicznych, pozwalając na jednolite analizy środowiska po obu stronach granicy przy zachowaniu waloru wysokiej rozdzielczości terenowej.

Przeprowadzone próby interpretacji wykazały, że większość komponentów środowiska geograficznego można stosunkowo łatwo wydzielać i różnicować, co pozwala na stosowanie tych zdjęć do różnorodnych badań w skalach średnich i dużych.

Do pewnych zastosowań (geomorfologia, hydrologia) przydatne mogą być zdjęcia stereoskopowe pokrycia wykonywane przez satelity serii KH-4, KH-4A i KH-4B.

W pewnych zastosowaniach, takich jak analizy użytkowania terenu, konieczne wydaje się wspomaganie danych obrazowych programu CORONA innymi zobrazowaniami oraz danymi uzyskanymi w terenie (historyczne badania terenowe itd.).

Problemy, pytania

Praca ta pozwoliła na krótką charakterystykę materiałów zdjęciowych satelitów programu CORONA. Przeanalizowano różne typy środowiska Polski, porównano zdjęcia z różnych generacji satelitów. Pozostaje jednak wiele pytań, na które ta praca nie odpowiedziała. Po pierwsze nie analizowano środowiska górskiego oraz morskiego, nie określono dla tych środowisk przydatności zdjęć oraz problemów związanych z ich wykorzystaniem. Nie analizowano także zdjęć wykonanych w miesiącach zimowych. Po drugie, możliwe zastosowania w naukach geograficznych i przyrodniczych zostały zaledwie zasygnalizowane, szczegółowa ocena wymaga przeprowadzenia następnych analiz. Wydaje się, że możliwe jest szerokie zastosowanie badanych materiałów do różnorodnych badań środowiska, jednak wymaga to jeszcze pogłębionych analiz.

Literatura

- Bychawski W., 1988, *Geometryzacja zdjęć satelitarnych*, Prace IGiK, 1, 33–58.
- Ciołkosz A., Kęsik A., 1989, *Teledetekcja satelitarna*, PWN.
- Ciołkosz A., Miszański J., Olędzki J.R., 1999, *Interpretacja zdjęć satelitarnych*, PWN.
- Corona: *America's First Satellite Program*, 1998, CIA Center For The Study of Intelligence.
- Day D.A., 1998, *Eye in the Sky: The Story of the Corona Spy Satellites* (Smithsonian History of Aviation Series), Smithsonian Institution Press.
- Faliński J., 2001, *Przewodnik do długoterminowych badań ekologicznych*, PWN.
- Gaffney T.R., 1998, *Secret Spy Satellites: America's Eyes in Space* (Countdown to Space).
- Gavaghan H. 1998, *Something New Under the Sun: Satellites and the Beginning of the Space Age*, Copernicus Books.
- Jackson R., 1998, *High Cold War: Strategic Air Reconnaissance and the Electronic Intelligence War*, Patrick Stephens.
- Kaufmann V., Sulzer W. 1997, *Über die Nutzungsmöglichkeit hochauflösender amerikanischer Spionage-Satellitenbilder (1960–72)*, *Ö.Z.Vermessung.GeoInf.*, 3, 166–174.
- Kondracki J., 1994: *Geografia Polski. Mezoregiony fizyczno-geograficzne*, PWN.
- Lashmar P., 1999, *Loty szpiegowskie czasów Zimnej Wojny*, Bellona.
- Leachtenauer J., Daniel K., Vogl T., 1998, *Digitizing satellite imagery: Quality and cost considerations*, *Photogramm. Eng. Rem. Sens.*, 64, 1, 29–34.
- Lindgren D.T., 1998, *Trust but Verify: Imagery Analysis in the Cold War*, Naval Institute Press.
- McDonald R.A., 1997, *Corona: Between the Sun & the Earth, The First NRO Reconnaissance Eye in Space*, ASPRS.
- Novak K., 1992, *Rectification of digital imagery*, *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, 58, 3, 339–344.
- Peebles C., 1997, *The Corona project: America's first spy satellites*, Airlife Publ.



Mgr Krzysztof Skocki ukończył Międzywydziałowe Studia Ochrony Środowiska Uniwersytetu Warszawskiego w specjalności teledetekcja środowiska. Interesuje się zastosowaniem wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych w badaniach powierzchni Ziemi i planet. Obecnie jest doktorantem w Centrum Badań Kosmicznych PAN w Warszawie; e-mail: skocki@astercity.net, krzysiek@cbk.waw.pl