

**OCENA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA OBRAZÓW SATELITARNYCH
SYSTEMU KH-7 DO BADAŃ ZMIAN UŻYTKOWANIA NA TERENACH
ZURBANIZOWANYCH**

**FEASIBILITY STUDY FOR USE THE KH-7 SATELLITE IMAGERY
FOR LAND-USE CHANGE ANALYSIS IN URBAN AREAS**

Wojciech Drzewiecki, Ewa Głowienka, Piotr Tokarczyk

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska, Akademia
Górnictwo-Hutnicza w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: pokrycie i użytkowanie terenu, fotointerpretacja, obszary miejskie, analizy wieločasowe, zdjęcia satelitarne

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono prace, których celem była weryfikacja możliwości wykorzystania zdjęć satelitarnych systemu KH-7 w badaniach zmian użytkowania na terenach zurbanizowanych. Badania przeprowadzono na obszarze testowym zlokalizowanym w północnej części Krakowa, obejmującym zarówno tereny o charakterze wielkomiejskim jak i podmiejskim, o zróżnicowanym sposobie użytkowania. Wykorzystano w nich zdjęcie satelitarne systemu KH-7 wykonane w dniu 13 lipca 1966 oraz dwie sekcje ortofotomapy wykonanej w ramach projektu LPIS z czarno-białych zdjęć lotniczych w skali 1:13000, pochodzących z roku 2003.

Fragment zdjęcia satelitarnego obejmujący obszar testowy poddano kalibracji geometrycznej metodą wielomianu drugiego stopnia oraz ortorektyfikacji z wykorzystaniem metody RPC przy zastosowaniu dziesięciu współczynników uzyskanych w oparciu o punkty dostosowania. Lepsze rezultaty uzyskano dla drugiej z metod.

Następnie na drodze fotointerpretacji ortofotomapy lotniczej i satelitarnej opracowano mapy użytkowania odpowiednio dla roku 2003 i 1966. Fotointerpretację przeprowadzono stosując schemat klasyfikacyjny odpowiadający czwartemu poziomowi *CORINE Land Cover*. Mapy te pozwoliły na określenie głównych kierunków zmian, jakie zaszły na badanym obszarze.

Przeprowadzone badania w pełni potwierdziły wysoką przydatność archiwalnych zdjęć satelitarnych wykonanych w trakcie realizacji programów rozpoznania obrazowego, w analizach zmian użytkowania na terenach zurbanizowanych. Dotyczy to zarówno ich pojemności informacyjnej, jak i potencjału kartometrycznego - możliwych do uzyskania parametrów dokładnościowych. Pod względem pojemności informacyjnej testowane zdjęcie systemu KH-7 uznać należy za wystarczające dla opracowań dotyczących zmian pokrycia i użytkowania terenu prowadzonych na czwartym poziomie wydzieleni *CORINE Land Cover*. Pod względem kartometrycznym osiągnięto dokładność położenia punktu wymaganą dla ortofotomapy w skali 1:25000.

1. WPROWADZENIE

Planowanie na obszarach miejskich i prognozowanie ich rozwoju wymaga poznania i zrozumienia kierunków i dynamiki zachodzących na tych terenach zmian. Jest to zadanie trudne zarówno ze względu na złożoność badanego problemu, jak i na brak

porównywalnych danych dla różnych obszarów (por. Barredo i in. 2003). W tym kontekście za niezwykle istotną uznać należy rolę materiałów teledetekcyjnych. O ich przydatności do badań terenów zurbanizowanych świadczą chociażby pojawiające się co jakiś czas monografie (np. Donnay i in. 2001, Weng i Quattrochi 2006).

Techniki teledetekcyjne dają możliwość uzyskania obiektywnej dokumentacji rejestrowanego obszaru, a ich różnorodność pozwala na pozyskanie danych o zróżnicowanym charakterze, skali i rozdzielczości (Mularz i in. 2007). Użytkownik może zatem dokonać doboru materiałów odpowiednich do swoich potrzeb. Co więcej, może uzyskać na ich podstawie opracowania o charakterze metrycznym, co wraz z możliwością pozyskiwania danych wieloczasowych, stanowi o ogromnej przydatności tego rodzaju danych w badaniach dynamiki przekształceń obszarów zurbanizowanych. Dodatkową zaletę stanowi fakt, iż materiały teledetekcyjne podlegać mogą interpretacji w różnych aspektach, także i takich, które nie były planowane w trakcie ich rejestracji (Mularz i in. 2007). Przykład stanowić może pozyskiwanie na podstawie danych teledetekcyjnych informacji o charakterze socjoekonomicznym (por. np. Jensen i Cowen 1999).

Bardzo dobry przykład wykorzystania obrazów teledetekcyjnych do analiz dynamiki przekształceń obszarów zurbanizowanych stanowi realizowany przez Centrum Badań Wspólnotowych UE projekt MOLAND (*Monitoring Land Cover /Land Use Dynamics*). Jego celem jest „ocena, monitorowanie i modelowanie przeszłego, obecnego i przyszłego rozwoju miast i regionów, z punktu widzenia rozwoju zrównoważonego” (Barredo i in. 2003). Pierwsza faza projektu polega na opracowaniu dla badanych obszarów baz danych przestrzennych dotyczących użytkowania terenu i sieci transportowej. Zazwyczaj opracowywane były trzy stany czasowe: stan referencyjny (pomiędzy rokiem 1998 a 2000) i trzy stany historyczne (połowa lat 50-tych, koniec 60-tych i lata 80-te). Aktualna mapa użytkowania opracowywana jest na drodze interpretacji obrazów satelitarnych (IRS, SPOT lub IKONOS). Mapy historyczne powstają zwykle na drodze interpretacji zdjęć lotniczych lub zdjęć pochodzących z satelitów wojskowych. Dokładność opracowywanych map odpowiada skali 1:25000 – minimalny wydzielany obszar wynosi 1 ha dla obszarów antropogenicznych i 3 ha dla naturalnych.

Bazy tego rodzaju powstały dla ponad dwudziestu europejskich miast i kilku większych obszarów (regionów, korytarzy transportowych). Z punktu widzenia badań przekształceń obszarów miejskich jako zalety przyjętej metodyki autorzy projektu wymieniają wieloczasowy charakter tworzonych baz danych, ich duży (ponad pięćdziesięcioletni) horyzont czasowy, a zwłaszcza jednolity sposób pozyskiwania danych (por. Barredo i in. 2003). W każdym przypadku jako dane źródłowe wykorzystywane są materiały teledetekcyjne pozwalające na uzyskanie zakładanej dokładności produktu końcowego, a baza konstruowana jest według jednolitych kryteriów klasyfikacyjnych (na potrzeby projektu opracowano specjalny schemat klasyfikacyjny uszczegóławiając wydzielenia *CORINE Land Cover* poziomu 3). Przyjęte rozwiązania pozwalają na prowadzenie analiz w obrębie poszczególnych miast, ale co równie ważne umożliwiają także dokonywanie porównań pomiędzy badanymi obszarami.

Projekt MOLAND nie obejmuje obszaru Polski. W ciągu ostatnich kilkunastu lat zrealizowano jednak w Polsce dwa projekty, których wyniki mogłyby zostać wykorzystane w tego rodzaju badaniach. Są to ortofotomapy powstałe w ramach projektów PHARE (wykonane ze zdjęć z lat 1995-99) oraz LPIS (materiały z lat 2002-2006). Zaletą obu zestawów danych jest ich dostępność, łatwość i niski koszt pozyskania. Postać

ortofotomapy powoduje, iż potencjalny użytkownik nie musi posiadać specjalistycznego oprogramowania niezbędnego do wstępnego przetworzenia danych. Dokładność geometryczna i pojemność informacyjna zaspokajają wymagania niezbędne dla opracowania odpowiednich baz danych. Powstaje jednak pytanie o porównywalne, jednolite w skali kraju materiały, umożliwiające wykonanie takich baz dla wcześniejszych stanów czasowych. Jedną z możliwości stanowią archiwalne zdjęcia lotnicze. Są to jednak materiały, których pozyskanie i przetworzenie do postaci ortofotomapy wymaga sporego nakładu czasu, pracy i kosztów. Alternatywnym rozwiązaniem mogą być wysokorozdzielcze zdjęcia wykonywane z poziomu satelitarnego: rosyjskie (kamera KFA-1000) z lat 80-tych i amerykańskie (program CORONA i kolejne misje) z lat 60-tych. Szczególnie atrakcyjne wydają się zwłaszcza zdjęcia amerykańskie – odpowiednie zdjęcie wyszukać można i zamówić (w postaci odbitki lub skanu o żądanych parametrach) w katalogu udostępnionym w internecie, a koszt pozyskania jest niewielki. Przeprowadzenie weryfikacji możliwości ich wykorzystania do badań zmian użytkowania na terenach zurbanizowanych stanowiło cel prezentowanej pracy.

2. ODTAJNIONE ZDJĘCIA AMERYKAŃSKICH SATELITARNYCH SYSTEMÓW ROZPOZNANIA OBRAZOWEGO

W latach 1960-72 armia Stanów Zjednoczonych realizowała program satelitarnego rozpoznania strategicznego pod kryptonimem CORONA. Szczegóły dotyczące programu CORONA opisane zostały w publikacji Skockiego (2004). Wykonane wówczas zdjęcia odtajniono w roku 1995. Obecnie są one udostępniane za pośrednictwem USGS (*United States Geological Survey*).

Zdjęcia wykonywane były na specjalnym filmie za pomocą kamer panoramicznych, przy czym w kolejnych generacjach satelitów kamery te stopniowo ulepszano. Owocowało to nie tylko coraz lepszą jakością obrazu, ale również poprawą rozdzielczości. Ze zdjęć pochodzących z ostatniej serii satelitów (KH-4B), o rozdzielczości terenowej wynoszącej sześć stóp, możliwe jest wykonywanie powiększeń nawet do skali 1:7500 (Skocki 2004).

Chociaż od czasu odtajnienia zdjęć minęło już ponad 10 lat, stosunkowo nieliczne są publikacje dotyczące badań przeprowadzonych z ich wykorzystaniem (por. Skocki 2004). Hamandawana i in. (2005) wykorzystują je w swoich badaniach dotyczących zmian środowiska zachodzących w delcie Okavango (Botswana). Skocki (2004) przeprowadza szczegółową analizę dotyczącą pojemności informacyjnej i przydatności obrazów satelitarnych programu CORONA do badań stanu i zmian środowiska przyrodniczego Polski. Analizami swoimi nie objął on jednak obszarów nadmorskich, górskich i silnie zurbanizowanych. O wykorzystaniu tego źródła danych w ramach programu MOLAND wspominają Barredo i in. (2003), nie podając jednak bliższych szczegółów.

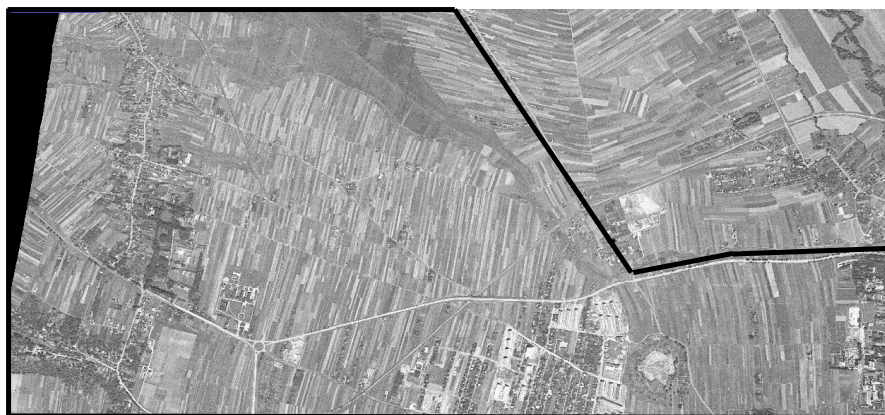
W roku 2001 odtajniono kolejną partię zdjęć wykonanych przez wojskowe satelity amerykańskie systemów KH-7 i KH-9. Pierwszy był systemem zwiadowczym działającym od lipca 1963 do czerwca 1967. Początkowo pozyskiwano zdjęcia o terenowym rozmiarze piksela wynoszącym cztery stopy (1.2 m), a od roku 1966 rozdzielczość wykonywanych zdjęć wzrosła do dwóch stóp (0.6 m). Drugi (KH-9) to system zaprojektowany do pozyskiwania materiałów dla celów kartograficznych – rozdzielczość terenowa wykonywanych zdjęć wynosiła od 20 do 30 stóp. Funkcjonował w latach 1973-80.

3. OBSZAR BADAŃ

Badania przeprowadzono na obszarze testowym zlokalizowanym w północnej części Krakowa. Teren badań zdefiniowano jako sekcję mapy w skali 1:5000 o godle M-34-64-D-b-3-3 oraz część sąsiedniej sekcji M-34-64-D-b-3-4 ograniczoną do rejonu zamkniętego ulicami Łokietka i Opolską. Powierzchnia tak określonego obszaru wynosi 817 ha. Jest to obszar przejściowy, obejmujący zarówno tereny o charakterze wielkomiejskim jak i podmiejskim, na którym występuje obecnie zróżnicowane użytkowanie (m. in. zabudowa typu blokowego, osiedla domków jednorodzinnych, wielkopowierzchniowe obiekty handlowe, ogródki działkowe, tereny parkowe, pola uprawne). (Rys. 1)



Rys. 1. Ortofotomapa z projektu LPIS z naniesionymi granicami obszaru opracowania.



Rys. 2. Ortofotomapa ze zdjęcia satelitarnego z naniesionymi granicami obszaru opracowania.

4. DANE I METODYKA

W badaniach wykorzystano dwie sekcje ortofotomapy wykonanej w ramach projektu LPIS (godła M-34-64-D-b-3-3 i M-34-64-D-b-3-4), o rozmiarze piksela wynoszącym 0,25 m (Rys. 1). Ortofotomapa opracowana została z panchromatycznych zdjęć lotniczych w skali 1:13000 wykonanych w roku 2003.

Testowane zdjęcie satelitarne systemu KH-7 wykonane zostało w dniu 13 lipca 1966. Rozdzielczość terenowa zdjęcia, zgodnie z informacją umieszczoną na serwerze USGS wynosi 2-3 stóp. Zdjęcie dostarczone zostało przez USGS w postaci zeskanowanej z rozdzielczością 7 μ m. W trakcie skanowania zdjęcie podzielono na dwie części, których skany zapisane zostały w oddzielnych plikach. Obszar badań, podobnie jak pozostała część Krakowa, znajdował się w całości na jednym z fragmentów. Niestety jego część (ok. 26 ha) nie została odfotografowana.

Przed przystąpieniem do dalszych prac zdjęcie satelitarne wymagało kalibracji geometrycznej. Skocki (2004) sugeruje wykorzystanie w tym celu wielomianu drugiego stopnia. Dla testowanego przez siebie obrazu uzyskał on tą metodą średni błąd pozycji punktów wynoszący 2.34 m (z kontekstu wynika, że wartość ta odnosi się do 21 użytych punktów dostosowania – Autor nie podaje bowiem żadnych informacji na temat pozyskanych punktów kontrolnych).

W przypadku testowanego przez nas obrazu zdecydowaliśmy się przeprowadzić porównanie rezultatów kalibracji geometrycznej z wykorzystaniem wielomianu drugiego stopnia oraz ortorektyfikacji metodą RPC przy zastosowaniu dziesięciu współczynników uzyskanych w oparciu o punkty dostosowania. W obydwu przypadkach współrzędne terenowe fotopunktów pozyskano z ortofotomapy z projektu LPIS. Do ortorektyfikacji użyto modelu wysokościowego opracowanego z wykonanych w roku 2003 zdjęć lotniczych w skali 1:13 000 (Drzewiecki i in. 2006).

Kalibrację geometryczną wykonano w programie PCI OrthoEngine. W obydwu przypadkach wykorzystano 41 punktów dostosowania i 6 punktów kontrolowanych. Pomiędzy wykonaniem obydwu wykorzystywanych zobrazowań w terenie zaszło wiele zmian polegających m.in. na przebudowie sieci drogowej (poszerzenia dróg, zmiany ich przebiegu, przebudowy skrzyżowań). Z tego względu jako punktów dostosowania używano przede wszystkim widocznych na obu obrazach narożników budynków. Uzyskane wyniki kalibracji geometrycznej przedstawia Tab 1.

Tab 1. Analiza dokładności kalibracji geometrycznej obrazu satelitarnego - błędy średnie i maksymalne [m]

| | Punkty dostosowania | | | Punkty kontrolowane | | |
|---------------------|---------------------|------|-------|---------------------|------|-------|
| | rmsX | rmsY | rmsXY | rmsX | rmsY | rmsXY |
| | maxX | maxY | maxXY | maxX | maxY | maxXY |
| Metoda wielomianowa | 2.52 | 2.48 | 3.54 | 7.45 | 4.86 | 8.89 |
| | 5.69 | 6.01 | 7.60 | 10.04 | 8.12 | 10.97 |
| Metoda RPC | 1.88 | 1.90 | 2.67 | 4.91 | 2.60 | 5.56 |
| | 5.85 | 6.19 | 6.20 | 5.64 | 4.80 | 7.13 |

Spośród dwóch testowanych rozwiązań lepsze parametry dokładnościowe uzyskano dla ortofotomapy wygenerowanej w oparciu o współczynniki RPC. Ortofotomapę tą wykorzystano w dalszych badaniach.

Kolejny etap prac stanowiło opracowanie mapy użytkowania terenu na drodze fotointerpretacji ortofotomapy lotniczej. Zastosowano następujący schemat klasyfikacyjny:

- zabudowa zwarta: zabudowa zwarta wielkomiejska (kod 1111), zabudowa zwarta miejska (1112);
- zabudowa luźna: zabudowa luźna wielorodzinna typu blokowego (1121), zabudowa luźna wielorodzinna typu miejskiego (1122), zabudowa luźna jednorodzinna typu miejskiego (1123), zabudowa jednorodzinna typu wiejskiego (1124), zabudowa letniskowa (1125);
- strefy przemysłowe lub handlowe: tereny przemysłowe (1211), tereny urządzeń produkcyjnych i usługowych rolnictwa (1212), tereny specjalistycznej infrastruktury technicznej (1213), tereny handlowe (1214), tereny użyteczności publicznej (1215);
- tereny komunikacyjne i związane z komunikacją: drogi i tereny związane z komunikacją drogową (1221), koleje i tereny kolejowe (1222), złożona sieć komunikacyjna i tereny towarzyszące (1223);
- miejsca eksploatacji odkrywkowej: wyrobiska surowców okruchowych i ilastych (1311), kamieniołomy (1312), kopalnie odkrywkowe (1313), wyrobiska rekultywowane i zarastające roślinnością (1314);
- zwałowiska i hałdy: zwałowiska przemysłowe odpadów stałych (1321), zwałowiska odpadów płynnych – osadniki (1322), wysypiska komunalne (1323), zwałowiska i wysypiska rekultywowane i zarastające (1324);
- budowy: place budów (1331);
- miejskie tereny zielone: parki miejskie i wiejskie (1411), zieleńce oraz skwery i trawniki (1412), ogrody działkowe (1413), ogrody dydaktyczne (1414), cmentarze (1415), tereny nie użytkowane gospodarczo - odłogi (1416);
- miejskie tereny sportowe i wypoczynkowe: tereny sportowe (1421), zespoły basenów (1422), tereny wypoczynkowo-kempingowe (1423);
- grunty orne: grunty orne z działkami o średniej i dużej powierzchni bez rozproszonej roślinności (2111), grunty orne z działkami o średniej i dużej powierzchni z rozproszoną roślinnością drzewiastą i krzewiastą (2112), uprawy szklarniowe i pod folią (2113), grunty rolne rozdrobnione bez rozproszonej roślinności (2114), grunty orne rozdrobnione z rozproszoną roślinnością drzewiastą i krzewiastą (2115), grunty orne przemiennie z odłogami (2116);
- sady i plantacje: sady (2221), plantacje krzewów owocowych (2222);
- łąki: łąki i pastwiska (2311), łąki i pastwiska z udziałem drzew i krzewów (2312), szuwały (2313);
- złożone systemy upraw i działek: złożone systemy upraw i działek bez rozproszonej roślinności (2421), złożone systemy upraw i działek z rozproszoną roślinnością drzewiastą i krzewiastą (2422), tereny rolnicze z przewagą zadrzewień i zakrzaczew (2423);
- lasy liściaste: lasy liściaste o zwartym drzewostanie (3111), lasy liściaste o rozluźnionym drzewostanie (3112);
- lasy iglaste: lasy iglaste o zwartym drzewostanie (3121), lasy iglaste o rozluźnionym drzewostanie (3122);

- lasy mieszane: lasy mieszane o zwartym drzewostanie (3131), lasy mieszane o rozluźnionym drzewostanie (3132);
- murawy i pastwiska naturalne: murawy i pastwiska naturalne w przewadze bez drzew i zakrzaczeń (3211), murawy i pastwiska naturalne z udziałem drzew i zakrzaczeń (3212);
- zakrzaczenia: zakrzaczenia (3221);
- lasy i roślinność krzewiasta: szkółki leśne (3241), zalesienia i samosiewy (3242), wylesienia i zręby (3243), las zdegradowany i ginący (3244), zadrzewienia nieleśne – przylaski (3245);
- odsłonięte skały: odsłonięte skały (3321);
- roślinność rozproszona: roślinność rozproszona na podłożu piaszczystym (3331), roślinność rozproszona na podłożu skalistym (3332);
- pogorzelska: pogorzelska (3341);
- ciek: rzeki (5111), kanały (5112), rzeki skanalizowane (5113);
- zbiorniki wodne: naturalne zbiorniki wodne – jeziora (5121), zbiorniki retencyjne (5122), stawy rybne (5123), wyrobiska i zapadliska wypełnione wodą (5124);
- inne: tereny niesklasyfikowane (9999)

Powyższy schemat stanowi modyfikację propozycji przedstawionej przez Baranowską i in. (2002) i odpowiada tzw. czwartemu poziomowi *CORINE Land Cover*. Główne modyfikacje polegały na pominięciu tych klas, które nie występują na opracowywanym obszarze (np. porty, lotniska) oraz wprowadzeniu osobnych klas dla rozdrobnionych gruntów rolnych oraz gruntów rolnych występujących przemiennie z odłogami. Zrezygnowano również z wydzielania systemów upraw z rozproszoną zabudową, ponieważ zdecydowano się wydzielać tereny zabudowane niezależnie od powierzchni ich konturów. Dla pozostałych klas wydzielane kontury musiały mieć powierzchnię co najmniej 0.5 ha.

W pierwszej kolejności wykonano fotointerpretację na posiadającej wyższą rozdzielczość ortofotomapie lotniczej. Uzyskane w ten sposób kontury wydzieleni nałożono następnie na ortofotomapę uzyskaną ze zdjęcia satelitarnego i poddano weryfikacji, zmieniając kod w razie niezgodności ze stwierdzonym na mapie użytkowaniem i/lub dokonując odpowiednich modyfikacji granic.

5. WYNIKI

W wyniku fotointerpretacji ortofotomapy pochodzącej z programu LPIS w granicach opracowywanego obszaru wydzielono obiekty należące do 39 kategorii użytkowania według przyjętego schematu wydzieleni na czwartym poziomie *CORINE Land Cover* (14 klas wg *CORINE Land Cover* poziomu 3). Udziały poszczególnych klas w całości powierzchni badanego terenu przedstawiono w Tab 2 i Tab 4.

W wyniku fotointerpretacji ortofotomapy ze zdjęcia satelitarnego systemu KH-7 w granicach opracowywanego obszaru wydzielono obiekty należące do 33 kategorii użytkowania według przyjętego schematu wydzieleni na czwartym poziomie *CORINE Land Cover* (14 klas wg *CORINE Land Cover* poziomu 3) Udziały poszczególnych klas w całości powierzchni badanego terenu przedstawiono w Tab 3 i Tab 4.

Występujące trudności fotointerpretacyjne dotyczyły przede wszystkim rozróżnienia na ydciu satelitarnym klas określonych na 3 poziomie szczegółowości jako „grunty orne” (kod 211) oraz „złożone systemy upraw i działek” (kod 242). W badanym obszarze mamy

do czynienia z mozaiką małych działek i trudno było niekiedy rozstrzygnąć czy mamy do czynienia tylko z gruntami ornymi pokrytymi różnymi uprawami czy również z działkami wykorzystywanymi jako łąki. Należy jednak zauważyć, iż Gronet (2002) wskazuje na podobne problemy w odniesieniu do interpretacji barwnych zdjęć lotniczych w skali 1:26000. Sporadycznie pojawiały się również wątpliwości co do charakteru luźnej zabudowy jednorodzinnej (miejski, wiejski). W tym miejscu należy podkreślić, iż fotointerpretacja dotyczyła terenu stosunkowo dobrze znanego interpretatorom, co niewątpliwie czyniło ją łatwiejszą, pozwalając na rozwianie niektórych z wątpliwości interpretacyjnych.

Tab 2. Klasy użytkowania terenu (*CORINE Land Cover* poziom 4) wydzielone na ortofotomapie lotniczej (rok 2003)

| Kod klasy | Nazwa klasy | Udział w powierzchni obszaru [%] |
|-----------|--|----------------------------------|
| 1416 | tereny nie użytkowane gospodarczo | 13.6 |
| 2422 | złożone systemy upraw i działek z rozproszoną roślinnością | 11.3 |
| 1221 | drogi i tereny związane z komunikacją drogową | 9.7 |
| 1123 | zabudowa luźna jednorodzinna typu miejskiego | 9.0 |
| 2116 | grunty orne przemienne z odłogami | 8.4 |
| 2312 | łąki i pastwiska z udziałem drzew i krzewów | 7.2 |
| 1121 | zabudowa luźna wielorodzinna typu blokowego | 6.6 |
| 1214 | tereny handlowe | 6.2 |
| 1412 | zieleńce oraz skwery i trawniki | 5.0 |
| 1215 | tereny użyteczności publicznej | 3.4 |
| 1413 | ogrody działkowe | 3.2 |
| 1124 | zabudowa jednorodzinna typu wiejskiego | 2.8 |
| 1411 | parki miejskie i wiejskie | 1.8 |
| 2111 | grunty orne z działkami o średniej i dużej powierzchni | 1.6 |
| 1112 | zabudowa zwarta miejska | 1.1 |
| | pozostałe (24 kategorie) | 9.1 |

Podsumowując wyniki fotointerpretacji dla roku 2004 należy stwierdzić, iż w obszarze badań dominują (zajmując nieco ponad dwie trzecie powierzchni obszaru) różnego rodzaju tereny zantropogenizowane, wśród których przeważają: luźna zabudowa (jedno- i wielorodzinna), tereny przemysłowe i handlowe oraz związane z komunikacją. Do terenów zantropogenizowanych zaliczono również bardzo liczną klasę nieużytków (13.6%). Tereny związane z użytkowaniem rolniczym zajmowały w roku 2004 nieco ponad

30 procent powierzchni badanego obszaru. Zwraca jednak uwagę fakt, iż ponad 8 procent obszaru znalazło się w kategorii „grunty orne przemienne z odłogami”.

W roku 1965 trzy czwarte powierzchni analizowanego terenu wykorzystywane było rolniczo. Większość (63.6 %) zaliczono do kategorii „złożone systemy upraw i działek” – były to tereny o znacznym rozdrobnieniu pól użytkowanych jako grunty orne i łąki. Tereny zantropogenizowane pokrywały niespełna 23 procent powierzchni obszaru badań. W przeważającej części były to obszary luźnej zabudowy jednorodzinnej oraz dróg.

Tab 3. Klasy użytkowania terenu (*CORINE Land Cover* poziom 4) wydzielone na ortofotomapie satelitarnej (rok 1966)

| Kod klasy | Nazwa klasy | Udział w powierzchni obszaru [%] |
|-----------|--|----------------------------------|
| 2421 | złożone systemy upraw i działek bez rozproszonej roślinności | 46.3 |
| 2422 | złożone systemy upraw i działek z rozproszoną roślinnością | 17.3 |
| 1124 | zabudowa jednorodzinna typu wiejskiego | 6.5 |
| 2311 | łąki i pastwiska | 5.6 |
| 1221 | drogi i tereny związane z komunikacją drogową | 4.4 |
| 1123 | zabudowa luźna jednorodzinna typu miejskiego | 2.7 |
| 2312 | łąki i pastwiska z udziałem drzew i krzewów | 2.3 |
| 2221 | sady | 1.9 |
| 1215 | tereny użyteczności publicznej | 1.9 |
| 1121 | zabudowa luźna wielorodzinna typu blokowego | 1.7 |
| 1413 | ogrody działkowe | 1.5 |
| 2111 | grunty orne z działkami o średniej i dużej powierzchni | 1.2 |
| 1331 | place budów | 1.0 |
| | pozostałe (20 kategorii) | 5.7 |

Uzyskane mapy użytkowania terenu dla roku 1965 i 2004 pozwalają na określenie głównych kierunków zmian, jakie zaszły na badanym obszarze. Ten znajdujący się na obrzeżach miasta teren stanowił naturalny obszar jego ekspansji. W jej wyniku utracił swój rolniczy charakter. Powstały nowe obszary zabudowy, a istniejąca zabudowa w znacznej części zmieniła swój charakter przekształcając się z zabudowy typu wiejskiego na miejską. Rozwojowi zabudowy towarzyszył rozwój dróg i terenów związanych z komunikacją oraz powstawanie stref przemysłowych i handlowych. Jednocześnie nastąpił zanik terenów użytkowanych rolniczo, zarówno wskutek ich zabudowania, jak i powstawania obszarów nieużytków.

Tab 4. Klasy użytkowania terenu (CORINE Land Cover poziom 3) – zmiany użytkowania

| Kod klasy | Nazwa klasy | Udział w powierzchni obszaru [%] | |
|-----------|---|----------------------------------|------|
| | | 2003 | 1966 |
| 111 | zabudowa zwarta | 1.1 | 0.0 |
| 112 | zabudowa luźna | 19.4 | 10.8 |
| 121 | strefy przemysłowe lub handlowe | 10.9 | 3.5 |
| 122 | tereny komunikacyjne i związane z komunikacją | 10.9 | 5.2 |
| 131 | miejsca eksploatacji odkrywkowej | - | 0.1 |
| 133 | budowy | 0.8 | 1.0 |
| 141 | miejskie tereny zielone | 24.1 | 2.2 |
| 142 | miejskie tereny sportowe i wypoczynkowe | 0.5 | 0.1 |
| 211 | grunty orne | 10.3 | 1.9 |
| 222 | sady i plantacje | 0.5 | 2.0 |
| 231 | łąki | 8.0 | 7.9 |
| 242 | złożone systemy upraw i działek | 12.0 | 63.6 |
| 313* | lasy mieszane | 0.6 | - |
| 322 | zakrzaczenia | 0.6 | 0.9 |
| 511 | cieki | 0.5 | 0.5 |

* lasy znajdujące się na obszarze nieodfotografowanym na zdjęciu satelitarnym

6. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania w pełni potwierdziły wysoką przydatność zdjęć satelitarnych wykonanych w trakcie realizacji amerykańskich programów rozpoznania obrazowego w analizach zmian użytkowania na terenach zurbanizowanych. Dotyczy to zarówno ich pojemności informacyjnej, jak i potencjału kartometrycznego - możliwych do uzyskania parametrów dokładnościowych. Pod względem pojemności informacyjnej testowane zdjęcie systemu KH-7 uznać należy za wystarczające dla opracowań dotyczących zmian pokrycia i użytkowania terenu prowadzonych na czwartym poziomie wydzieleni *CORINE Land Cover*. Pod względem kartometrycznym osiągnięto dokładność położenia punktu wymaganą dla ortofotomap w skali 1:25000.

Podsumowując należy stwierdzić, iż odtajnione zwiadowcze zdjęcia satelitarne, stanowią atrakcyjne źródło danych dla analiz zmian pokrycia i użytkowania terenu, także

na obszarach zurbanizowanych. Ze względu na swój potencjał kartometryczny i informacyjny, łatwość pozyskania, pokrycie rozległych obszarów kraju i szybkość wstępnego opracowania (kalibracji geometrycznej) stanowią one niewątpliwie alternatywę dla historycznych zdjęć lotniczych.

7. LITERATURA

Baranowska T., Gronet R., Poławski Z. F., 2002. *Koncepcja mapy użytkowania ziemi w skali 1:50 000 dla obszaru Polski*. Instytut Geodezji i Kartografii, Seria Monograficzna Nr 4.

Barredo J. I., Lavallo C., Demicheli L., Kasanko M., McCormick N., 2003. *Sustainable urban and regional planning: The MOLAND activities on urban scenario modelling and forecast*. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Donnay C.P., Barnsley M. J., Longley P. A. (red.), 2001. *Remote sensing and urban analysis*. Taylor and Francis, London

Drzewiecki W., Głowienka E., Hejmanowska B., Dżugaj M., Trybuś T., 2006. Wpływ liczby fotopunktów i dokładności numerycznego modelu wysokościowego na dokładność wysokorozdzielczej ortofotomapy satelitarnej. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 16.

Gronet R., 2002. Zdjęcia lotnicze jako źródło informacji w procesie opracowywania map użytkowania i pokrycia terenu w skali 1:50000. [w:] Baranowska T., Gronet R., Poławski Z. F.: *Koncepcja mapy użytkowania ziemi w skali 1:50 000 dla obszaru Polski*. Instytut Geodezji i Kartografii, Seria Monograficzna Nr 4

Hamandawana H., Eckhardt F., Chanda R., 2005. Linking archival and remotely sensed data for long-term environmental monitoring. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 7, s. 284-298.

Jensen J. R., Cowen D. C., 1999. Remote sensing of urban/suburban infrastructure and socio-economic attributes. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65(5), 611-622.

Mularz S., Drzewiecki W., Pirowski T, 2007. Teledetekcyjne metody rejestracji krajobrazu. *Roczniki Geomatyki*, T. V, z. 8, s. 67-78.

Skocki K, 2004. Analiza pojemności informacyjnej i przydatności obrazów satelitarnych programu CORONA do badań stanu środowiska przyrodniczego Polski i jego zmian. *Teledetekcja Środowiska*, 33, s. 87-112.

Weng Q., Quattrochi D. A. (red.), 2006. *Urban Remote Sensing*. CRC Press. Taylor&Francis Group, Boca Raton, London, New York.

**FEASIBILITY STUDY FOR USE THE KH-7 SATELLITE IMAGERY
FOR LAND-USE CHANGE ANALYSIS IN URBAN AREAS**

KEY WORDS: land-use / land cover, photo interpretation, urban areas, multi-temporal analysis, satellite photos

SUMMARY: The research presented in this paper focused on the evaluation of the usefulness of KH-7 satellite photographs for land-use change analysis in urban areas. Test area located in northern part of Krakow was chosen, having diverse land-use, with classes typical for downtown and suburban areas of the city. Satellite photograph taken in 1966 was used together with orthophotomaps produced from black-and-white aerial photographs (scaled 1:13000), taken in 2003.

Two methods of satellite imagery geometrical calibration were tested: second order polynomial and orthorectification using Rational Polynomial Coefficients derived from Ground Control Points. Better results were obtained with the RPC method.

Land-use maps of 2003 and 1966 were derived from photographs interpretation of aerial and satellite orthophotomaps respectively. Corine Land Cover Level 4 Classification Scheme was used. Created maps allowed the identification of main types of land-use changes in the area.

The usefulness of the KH-7 satellite photographs for land-use change analysis in urban areas was proved during the research, both as regards the informational capacity and cartographic potential. The informational capacity of the photograph tested is sufficient to enable interpretation of Corine Land Cover Level 4 land-use classes. Cartographic potential of the image allows to meet the accuracy standards for 1:25000-scale orthophotomaps.

Dr inż. Wojciech Drzewiecki
e-mail: drzewiec@agh.edu.pl
telefon: 12 617 2302
fax: 12 617 3993

Mgr inż. Ewa Głowienka
e-mail: eglo@agh.edu.pl
telefon: (12) 6172288
fax: 12 617 3993

Piotr Tokarczyk
e-mail: piotr.tokarczyk@gmail.com
telefon: 502-872-717