

## TRENDY ROZWOJU SYSTEMÓW OBRAZOWANIA POWIERZCHNI ZIEMI

### DEVELOPMENT TRENDS OF EARTH SURFACE IMAGING SYSTEMS

Zdzisław Kurczyński

Instytut Fotogrametrii i Kartografii, Politechnika Warszawska

**Słowa kluczowe:** VHRS, InSAR, LIDAR, kamera cyfrowa, UAV, obrazowanie  
**Keywords:** VHRS, InSAR, LIDAR, digital camera, UAV, imaging

#### Tło stanu obecnego obrazowania powierzchni Ziemi

Opracowania fotogrametryczne przez dziesięciolecia bazowały na tradycyjnych zdjęciach lotniczych. Równoległe do tego nurtu „pomiarowego” rozwijał się nurt „interpretacyjny” i teledetekcja wykorzystująca obrazowania satelitarne, głównie w zakresie optycznym (zakres widzialny i podczerwień). Oba te nurty rozwijały się dość niezależnie. Ich przedstawiciele działają często oddzielnie i wywodzą się z różnych środowisk akademickich i zawodowych. Jednym z powodów takiej sytuacji była stosunkowo niska przestrzenna zdolność rozdzielcza obrazów satelitarnych, które nie mogły stanowić alternatywy dla zdjęć lotniczych. Z drugiej strony, dla opracowań teledetekcyjnych wymagających wysokiej rozdzielczości radiometrycznej i spektralnej, z podczerwienią włącznie, zdjęcia lotnicze, szczególnie czarno-białe, nie stanowiły atrakcyjnych danych źródłowych.

Ta statyczna sytuacja ulega na naszych oczach gwałtownej zmianie. Dzieje się tak za sprawą zaistnienia po 2000 r. lotniczych kamer cyfrowych oraz po 1999 r. satelitarnych systemów obrazowania o bardzo dużej rozdzielczości (VHRS – *Very High Resolution Satellites*). Zdolność rozdzielcza tych systemów zbliżyła się do rozdzielczości tradycyjnych zdjęć lotniczych, a w zakresie zdjęć drobnoskalowych nastąpiło zrównanie rozdzielczości. Stworzyło to całkowicie nową sytuację współlistnienia danych obrazowych z pałapu lotniczego i satelitarnego.

Znamienną cechą lotniczych kamer cyfrowych i systemów satelitarnych dużej rozdzielczości są techniczne możliwości obrazowania w kilku zakresach spektralnych z podczerwienią włącznie. Jest to równoważne jednoczesnemu wykorzystaniu wszystkich typów emulsji stosowanych w fotografowaniu lotniczym: czarno-białej panchromatycznej, czarno-białej w podczerwieni, barwnej w barwach rzeczywistych i barwnej w podczerwieni. Separacja zakresów spektralnych (barw), zakres dynamiczny i rozdzielczość radiometryczna obrazowania cyfrowego (lotniczego i satelitarnego) znacznie przewyższają możliwości tradycyjnych filmów zwojowych. Ma to zasadnicze znaczenie dla zastosowań tych obrazów dla opraco-

wań interpretacyjnych i tematycznych. Obrazy takie – pod względem technicznym – w jednakowym stopniu spełniają wymagania zarówno opracowań o charakterze pomiarowym jak i potrzeb teledetekcji.

Zaistniała sytuacja spowodowała lawinę pytań i spekulacji o przyszłość zdjęć lotniczych. Skoro obrazy satelitarne zbliżyły się – pod względem rozdzielczości – do zdjęć lotniczych to czy je wyprą? Czy w tej sytuacji jest miejsce na lotnicze kamery cyfrowe? Skoro już pojawiły się lotnicze kamery cyfrowe, to jaka jest przyszłość kamer tradycyjnych? Czy i kiedy nastąpi wyparcie kamer tradycyjnych przez kamery cyfrowe? Ocenę stanu obecnego komplikuje dodatkowo fakt pojawienia się i wdrożenia do praktyki produkcyjnej całkowicie nowych technik obrazowania:

- lotniczego skaningu laserowego (LIDAR), który z powodzeniem konkuruje ze zdjęciami lotniczymi w zakresie tworzenia numerycznego modelu terenu o bardzo dużej dokładności wysokościowej, oraz budowie przestrzennych modeli miast (modele 3D),
- obrazowania w zakresie mikrofalowym (radarowym), a w tym interferometrii radarowej (InSAR), stanowiącej bardzo wydajną technikę tworzenia numerycznego modelu terenu na dużych obszarach. Technika ta poczyniła olbrzymie postępy, zarówno w obrazowaniu z pułapu lotniczego jak i satelitarnego.
- zapowiedzi budowy zaawansowanych systemów obrazowania Ziemi umieszczanych na bezzałogowych obiektach latających (UAV – *Unmanned Aerial Vehicles*) zasilanych energią słoneczną i operujących na wysokich pułapach. Samoloty takie będą mogły nieprzerwanie operować przez kilka miesięcy monitorując wybrane obszary.

Indywidualny odbiorca zdjęć może czuć się zdezorientowany i przytłoczony nadmiarem informacji. Taki stan pogłębia fakt, że informacja docierająca do użytkowników, w tym do osób odpowiedzialnych za planowanie produkcji, czy urzędników odpowiedzialnych za kreowanie rozwoju w sektorze publicznym w perspektywie kilku lat, skażona jest „szumem informacyjnym” wprowadzanym przez reklamę i prawa komercji. Postrzeganie zasygnalizowanych problemów we właściwych relacjach wymaga odpowiedzi na pytanie o obecne i prognozowane zapotrzebowanie rynku GIS na zobrazowania.

## Prognozy rozwoju rynku obrazowania powierzchni Ziemi

Różnorakie i wiarygodne prognozy przewidują szybki i długofalowy rozwój zastosowań GIS. Prognozy amerykańskie szacują wzrost rynku GIS do 2012 roku w tempie 9% rocznie, co stawia go wśród przodujących gałęzi gospodarki narodowej (Mondello Ch., Hepner G., Williamson A., 2004). Wzrost ten jednak nie będzie proporcjonalny dla głównych sektorów tego rynku. W sektorze „obronność” przewiduje się nawet wyraźne zmniejszenie rynku. „Lokomotywą” rozwoju będą zastosowania komercyjne, których udział do 2005 r. wzrósł pięciokrotnie w stosunku do 1996 r.

Na tych prognozach opierał się zakładany sukces kilku komercyjnych programów satelitarnych, które dostarczają stereoskopowe obrazy o terenowym wymiarze piksela zbliżonym do 1 m. Łatwy dostęp do takich obrazów znacznie poszerzył krąg odbiorców i upowszechnił aplikacje GIS. Przewiduje się, że pojawią się nowi odbiorcy i aplikacje trudne obecnie do przewidzenia.

Udział w nowym podziale rynku mają również opracowania GIS średnio- i wielkoskalowe, oparte na zdjęciach i obrazach pozyskiwanych z pułapu lotniczego. Spowodowało to wzrost

zapotrzebowania na zdjęcia i obrazy, a co jeszcze ciekawsze, istotne przesunięcia w strukturze tego zapotrzebowania. Wyraźnie wzrósł udział teledetekcji satelitarnej, ale np. zredukowany został udział kartograficznych opracowań drobnoskalowych (skala 1:25 000 i mniejsze) bazujących dotychczas na zdjęciach lotniczych. Jakość wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych jest zbliżona do jakości drobnoskalowych zdjęć lotniczych, co spowodowało „przejęcie” przez nie tego przedziału skalowego rynku zdjęć lotniczych. Obrazy „metrowe” pozwalają na tworzenie i aktualizację map topograficznych w skali 1:25 000 a nawet 1:10 000. W zakresie produkcji ortofotomap ta granica przesunęła się do skali 1:5 000.

Przewiduje się stagnację (a nawet kurczenie się) klasycznych opracowań fotogrametrycznych, bazujących na zdjęciach lotniczych, takich jak mapy i numeryczny model terenu (NMT). Będzie to spowodowane – oprócz rosnącej roli obrazów satelitarnych – wejściem nowych technik pomiarowych, takich jak lotniczy skaniny laserowy. Wzrost będzie obserwowany również w zakresie opracowań tematycznych, bazujących na danych satelitarnych i lotniczych.

## **Podział rynku według rozdzielczości obrazowania i dokładności opracowania**

Zmiany dotyczą nie tylko etapu pozyskiwania, ale również – może nawet w większym stopniu – technologii opracowania danych źródłowych. W zakresie klasycznych opracowań fotogrametrycznych nastąpiło przejście na technologie cyfrowe (w zakresie opracowań teledetekcyjnych nastąpiło to wcześniej). Nadal jednak dominującym źródłem danych jest klasyczna kamera pomiarowa na film zwojowy. W technologiach zorientowanych na opracowania cyfrowe, tradycyjne zdjęcia lotnicze muszą być wpiery zamienione na postać cyfrową w dodatkowym procesie skanowania. Jaka – na tym tle – jest przyszłość klasycznych zdjęć lotniczych? Jakie są perspektywy zastąpienia tradycyjnej lotniczej kamery fotogrametryczną kamerą cyfrową?

Analizując bliżej wymagania różnych sektorów rynku GIS na zdjęcia i obrazy uderza bardzo duże zróżnicowanie potrzeb różnych sektorów użytkowników. Należy tu rozróżnić zapotrzebowanie:

- pod kątem rozdzielczości geometrycznej,
- pod kątem rozdzielczości radiometrycznej.

Ilustruje to poglądowo rysunek 1. Na rysunku tym zapotrzebowanie różnych sektorów użytkowników umieszczono w układzie współrzędnych o osi poziomej wyrażającej rozdzielczość geometryczną i osi pionowej wyrażającej rozdzielczość radiometryczną. Zapotrzebowanie to zmienia się od wymaganej relatywnie niskiej rozdzielczości geometrycznej, ale dużej radiometrycznej (obrazy wielospektralne i hiperspektralne) dla potrzeb badania zasobów Ziemi, które mogą być łatwo zaspokojone przez wielospektralne i hiperspektralne średnio- i niskorozdzielcze systemy satelitarne, po potrzeby tworzenia map wielkoskalowych (map katastralnych) wymagających zdjęć o małej rozdzielczości radiometrycznej (wystarczają zdjęcia czarno-białe), ale o bardzo dużej geometrycznej zdolności rozdzielczej, które mogą być zaspokojone przez zdjęcia lotnicze w dużej skali.

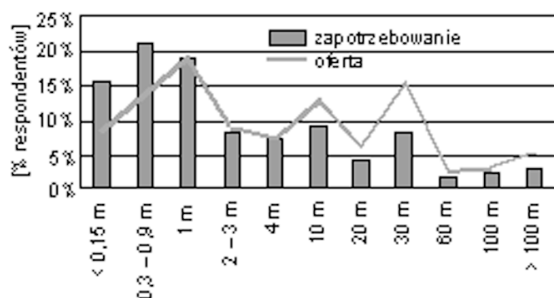
Obserwując obecne techniczne środki obrazowania powierzchni Ziemi można wskazać na trzy źródła obrazów, które są i będą obecne na rynku w najbliższych latach. Są to:

- tradycyjne lotnicze kamery (na film),
- lotnicze kamery cyfrowe,
- systemy obrazowania satelitarne, w tym wysokorozdzielcze (tzw. „metrowe”).

Zapotrzebowanie rynku GIS na zobrazowania lotnicze i satelitarne jest bardzo zróżnicowane pod względem ich zdolności rozdzielczej. Aż połowa zapotrzebowania lokuje się w przedziale rozdzielczości między 0,1 m a 1,0 m. Wymienione trzy źródła dostarczają zdjęcia i obrazy istotnie różniące się przestrzenną zdolnością rozdzielczą, oraz możliwością obrazowania wielospektralnego (rys. 1). Tę część analizy można podsumować stwierdzeniem, że pod względem podstawowych parametrów użytkowych wszystkie wymienione trzy podstawowe źródła wzajemnie się uzupełniają, znajdując właściwe sobie miejsce na rynku obrazowania.

Bardzo interesujące i wiarygodne dane na temat prognoz rozwoju rynku obrazowania Ziemi i ogólniej – rynku GIS, można znaleźć w 10-letniej prognozie opracowanej na zlecenie

rządu USA przez agencje NASA, NOAA i ASPRS (Amerykańskie Towarzystwo Fotogrametrii i Kartografii) (Mondello Ch., Hepner G., Williamson A., 2004). Jest to obszerny i wyczerpujący raport ujmujący prognozę w różnych aspektach, oddzielnie dla trzech głównych sektorów odbiorców: naukowo-badawczego, komercyjnego i rządowego. Zapotrzebowanie na zdjęcia i obrazy w funkcji ich zdolności rozdzielczej ilustruje rysunek 2, z rozróżnieniem na dane požądane przez klientów i faktycznie wykorzystywane.

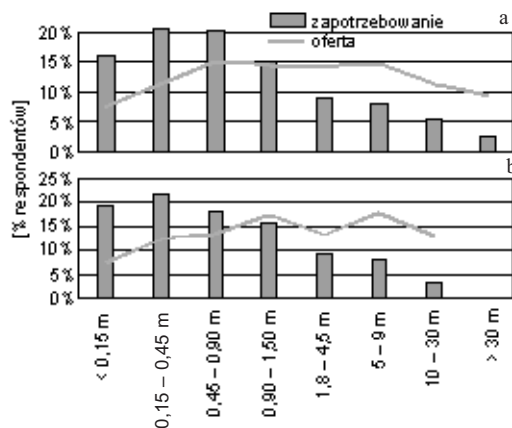


Rys. 2. Rozdzielczość przestrzenna obrazowania a zapotrzebowanie (sektor rządowy)

Raport w tym zakresie wskazuje na:

- podobny profil zapotrzebowania w trzech sektorach,
- większość potrzeb lokuje się w zakresie dużych rozdzielczości. Aż 37% klientów potrzebuje danych obrazowych o rozdzielczości lepszej niż 0,9 m, ale tylko 20% korzysta z takich danych. Obserwuje się więc w tym zakresie wyraźne rozwarście między zapotrzebowaniem znacznie przewyższającym ofertę. Sytuację odwrotną obserwuje się w przedziale rozdzielczości 10 m i więcej (podaż przewyższa zapotrzebowanie).

Obserwowane rozwarście rozdzielczości danych źródłowych między stanem obecnym a potrzebami wskazuje na kierunki rozwoju w tym zakresie.



Rys. 3. Dokładność opracowania a zapotrzebowanie (sektor rządowy): a – dokładność sytuacyjna, b – dokładność wysokościowa

Rozdzielczość wiąże się z dokładnością opracowania (rys. 3a). Tu jeszcze wyraźniej widać wzrost zapotrzebowania na opracowania o większej dokładności sytuacyjnej (błąd mniejszy od 1m) i malejące zainteresowanie opracowaniami mniej dokładnymi (błąd powyżej 2 m). Około 55% klientów oczekuje dokładności sytuacyjnej lepszej niż 1,0 m, ale tylko 35% ma dostęp do opracowań o takiej dokładności. Podobne tendencje obserwuje się w zakresie wymagań dokładności opracowań wysokościowych (rys. 3b). Duża dysproporcja między tym co jest wykorzystywane, a tym co jest pożądane obserwuje się szczególnie w sektorze rządowym i komercyjnym. Około 60% klientów oczekuje opracowań o dokładności wysokościowej wyższej niż 1,0 m, ale tylko 33% korzysta z takich danych. Odwrotna sytuacja występuje w przedziale dokładności 2 m i niższej, gdzie potrzeby są mniejsze od podaży.

### **Lotnicze czy satelitarne?**

Zaistnienie po 1999 r. długo oczekiwanych systemów satelitarnych o bardzo dużej rozdzielczości (VHRS) spowodowało początkowo spekulacje o wypieraniu z rynku danych obrazowych z pułapu lotniczego na korzyść danych satelitarnych. Pomimo zaistnienia kolejnych systemów VHRS tak się jednak nie stało. Obserwuje się i przewiduje, że obrazy satelitarne nie tylko nie wyprą danych lotniczych, ale oba źródła wzajemnie się uzupełniają i wzmacniają. Cytowany raport wskazuje na stabilną do końca obecnego dziesięciolecia tendencję wzrostu zarówno danych lotniczych jak i satelitarnych. Stała pozostanie relacja wartości obu części rynku, tj. satelitarnego i lotniczego jak 1:2 (Mondello Ch. i in. 2004).

### **Prognozy zastąpienia klasycznej kamery lotniczej przez kamerę cyfrową**

W zakresie zdjęć lotniczych, dla potrzeb kartograficznych wykorzystuje się zdjęcia w zakresie skal 1:5000 – 1:40 000, ale z tego przedziału skal aż 70% przypada na zakres 1:5000 – 1:15 000. Pod względem rozdzielczości przestrzennej właśnie w zakresie przestrzennej rozdzielczości 0,1–1,0 m o najwyższym zapotrzebowaniu wpasowuje się kamera cyfrowa. Kamera cyfrowa zajmuje więc miejsce niedostępne nawet dla wysokorozdzielczych systemów satelitarnych z jednej strony, zaś nie pokrywa zapotrzebowania aplikacji wymagających najwyższych zdolności rozdzielczych z drugiej strony. W tym zakresie koncentrują się potrzeby większości potencjalnych odbiorców. Jest to zakres pokrywany dotychczas przez średnioskalowe zdjęcia lotnicze. Jesteśmy świadkami rozpoczętej konkurencji między wchodzącą na rynek lotniczą kamerą cyfrową a tradycyjną kamerą na film. Wynik końcowy tego współzawodnictwa jest z góry przesądzony na korzyść kamery cyfrowej. Pozostaje jednak pytanie: jaki będzie harmonogram wypierania kamery tradycyjnej przez kamerę cyfrową?

Odpowiedź na to pytanie jest ważna dla kierowników produkcji planujących inwestycje i strategię rozwoju na najbliższe lata. Odpowiedź na to pytanie pozostaje również w kręgu zainteresowania instytucji publicznych (jak GUGiK), odpowiedzialnych za sformułowanie strategii rozwoju GIS co najmniej z kilkuletnim wyprzedzeniem, kreowanie technologii przez wydawanie aktualnych standardów technicznych stymulujących rozwój GIS, dla zaspokojenia bieżących i przyszłych potrzeb. W tym kontekście należy mieć również na uwadze, że

wstąpienie do UE oznacza „odkrycie” się rodzimej produkcji na konkurencję europejską w tym zakresie.

Porównując kamerę tradycyjną i kamerę cyfrową należy podkreślić, że nie chodzi o prostą zamianę jednego rozwiązania innym, nowszym. Problem jest bardziej złożony, wielowymiarowy, a różnice obu rozwiązań są nie tylko techniczne. Należy brać pod uwagę inne czynniki, a w tym:

- możliwe zastosowania,
- ekonomiczne uwarunkowania włączenia kamery cyfrowej w proces produkcji fotogrametrycznej.

Kamera cyfrowa oferuje równoczesne obrazowanie w trybie panchromatycznym (czarno-białe), oraz w trybie wielospektralnym (barwny, w tym podczerwień). Pod względem wykorzystywanego spektrum łączy więc wszystkie typy używanych filmów lotniczych, oferując przy tym wyższą rozdzielczość radiometryczną. Ma to kapitalne znaczenie dla przeróżnych aplikacji tematycznych. Kamera cyfrowa – na etapie pozyskiwania danych początkowych – łączy więc zapotrzebowanie dotychczas rozłącznych zadań: pomiarowych (fotogrametrycznych) i interpretacyjnych (tematycznych). Przewiduje się, że aż 50% wykorzystania kamery cyfrowej to będą właśnie wykorzystania dla opracowań tematycznych.

Rynek kamer cyfrowych został otwarty podczas Międzynarodowego Kongresu ISPRS (Amsterdam, 2000 r.), kiedy to dwaj światowi liderzy: firma Leica i Z/I Imaging zaprezentowali lotnicze kamery cyfrowe: ADS 40 (Leica) i DMC (Z/I Imaging). Pierwsza jest kamerą typu skaner elektrooptyczny, oparty na linijce detektorów CCD, a druga jest kamerą kadrową opartą na matrycy CCD. Do tej czołówki dołączyła firma Vexcel Corp. z kamerą kadrową UltraCam D, oraz Applanix Corp. ze średnioformatową kamerą DSS. Podczas kolejnego Kongresu w Istambule (2004 r.) kilka kolejnych firm zaprezentowało konstrukcje średnioformatowych kamer cyfrowych. Bardzo interesująca jest reakcja użytkowników na te nowości. Tabela 1 prezentuje aktualne dane na temat liczby sprzedanych kamer cyfrowych (Cramer M., 2005). Ciekawy jest również podział geograficzny tego rynku: większość kamer trafiła do Ameryki Północnej i na Daleki Wschód. Pod tym względem Europa znajduje się na dalszej pozycji.

Dla pełniejszej oceny danych zawartych w tabeli warto dodać, że obecnie w świecie używanych jest około 850 kamer fotogrametrycznych. Nadal produkowane są kamery RC30 (Leica) w liczbie 8-12 sztuk rocznie, oraz RMK-Top (Z/I Imaging) 6-8 sztuk rocznie. Ta produkcja będzie maleć na korzyść kamer cyfrowych. Ocenia się, że dopiero za około 5 lat udział kamer cyfrowych na rynku zacznie być znaczący.

Patrząc na uwarunkowania włączenia kamery cyfrowej w proces produkcji fotogrametrycznej, należy zauważyć, że nie jest to proste „wyjęcie” z tego procesu zdjęć tradycyjnych i zastąpienie ich obrazami cyfrowymi. Firmy fotolotnicze i firmy fotogrametryczne zainwe-

**Tabela 1.** Dystrybucja lotniczych kamer cyfrowych – stan: kwiecień 2005 r. (Cramer M., 2005)

Kamera	Liczba sprzedanych systemów	Wprowadzenie na rynek
ADS 40 (Leica)	27	2001
DMC (Z/I Imaging)	22	2003
UltraCam D (Vexcel)	19	2003
DSS (Applanix)	33	2002

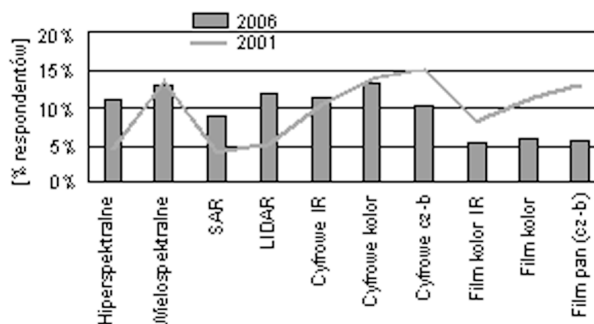
stowały w obecnie używane ciągi technologiczne duże kwoty i czas w opanowanie technologii (kamery lotnicze, skanery do zdjęć, platformy opracowania zdjęć). Muszą zaistnieć nie tylko techniczne ale i ekonomiczne powody, skłaniające do dalszych dużych inwestycji. Nie chodzi tu tylko o cenę kamery cyfrowej. Kamera taka kosztuje ponad 1 mln euro (!), ale to stanowi tylko (!) cenę dwóch kamer tradycyjnych. Każdą większą firmę fotolotniczą stać na taką zmianę. Tymczasem lotnicza kamera cyfrowa dostępna na rynku od pewnego czasu nie zaistniała dotychczas na szeroką skalę produkcyjną. Nadal utrzymywany jest ciąg produkcyjny bazujący na zdjęciach tradycyjnych, skanowaniu tych zdjęć i dalszym ich opracowaniu w technologiach zorientowanych cyfrowo. Takiej linii towarzyszy wykorzystanie bardzo drogiego sprzętu (kamery, skanery), o wieloletniej „używalności”. Dla kamery lotniczej jej produkcyjna używalność określa się na kilkanaście lat. Ten stan tymczasowy nie zmienia jednak nieuniknionego biegu rzeczy, tj. wypierania kamery tradycyjnej przez kamerę cyfrową. Ocenia się, że tradycyjna lotnicza kamera na film będzie produkowana i dostarczana na rynek jeszcze przez około 5 lat. Wypieranie z rynku tradycyjnej kamery przez kamerę cyfrową nie będzie krótkim epizodem, będzie procesem rozłożonym w czasie na kilka lat. Kamera cyfrowa przejmie przewagę na rynku zdjęć pod koniec bieżącego dziesięciolecia (Kurczyński Z., 2000).

## Zapotrzebowanie na dane obrazowe według typu

Wchodzenie na rynek kamer cyfrowych, zaistnienie wysokorozdzielczych systemów satelitarnych oraz rozwój innych technik obrazowania spowodował w minionych pięciu latach istotne zmiany zapotrzebowania i podziału rynku według rodzajów danych obrazowych (rys. 4). Na rynku amerykańskim zaobserwowano spadek zapotrzebowania na tradycyjne zdjęcia lotnicze na filmie zwojowym. Ta tendencja pogłębi się w najbliższych latach w związku ze stopniowym wypieraniem tradycyjnych kamer przez kamery cyfrowe. Zmniejszeniu ulega również zapotrzebowanie na czarno-białe obrazy cyfrowe. Ciekawe, że zmniejszonego zainteresowania zdjęciami tradycyjnymi nie kompensuje stosunkowo niewielki wzrost zapotrzebowania po stronie obrazów cyfrowych. Zdecydowany wzrost zapotrzebowania deklarują klienci w zakresie:

- satelitarnych obrazów hiperspektralnych,
- danych lotniczego skaningu laserowego (LIDAR),
- danych radarowych SAR (lotniczych i satelitarnych, rys. 4).

To potwierdza wcześniejszą obserwację, że rozwój techniki LIDAR i SAR przejmuje część rynku zdjęć w zakresie ich wykorzystania dla tworzenia NMT. Planowane na najbliższe lata satelitarne systemy radarowe SAR mogą tą tendencję pogłębić. Powyższe tendencje obserwowane są w każdym sektorze użytkowników (naukowo-badawczym, komercyjnym i rządowym).



Rys. 4. Trendy rozwoju technicznych środków obrazowania

## Obrazowanie z bezzałogowych statków powietrznych

Interesującą alternatywą dla obrazowania lotniczego i satelitarnego mogą stanowić bezzałogowe obiekty latające HALE UAV (*High Altitude Long Endurance Unmanned Aerial Vehicles*). Z punktu widzenia potrzeb monitorowania powierzchni Ziemi na uwagę zasługują UAV operujące w stratosferze, na wysokości kilkunastu km i napędzane silnikami elektrycznymi na baterie słoneczne. Dzięki temu pojazdy takie mogą operować nawet przez kilka miesięcy.

Do inicjatywy europejskiej należy projekt PEGASUS (*Policy support European Governments by Acquisition of information from Satellite and UAV Sensors*). Jest to projekt belgijski realizowany we współpracy z Holandią, Niemcami, Francją i Włochami. Pegasus będzie operował na wysokości 12-20 km. Będzie docelowo wyposażony w 4 systemy obrazowania (Everaerts J. et al., 2005):

- wielospektralną kamerę cyfrową z pasem obrazowania 2,4 km i pikselem 20 cm,
- LIDAR z pasem obrazowania 2,4 km, dokładności wysokościowej 15 cm i gęstości punktów laserowych 1punkt/2-4 m<sup>2</sup>,
- cyfrową kamerę termalną pracującą w dwóch oknach atmosferycznych, z pikselem w zakresie 1,13-2,25 m,
- system radarowy SAR pracujący w kanale X z pasem obrazowania 4,5 km i rozdzielczości 2,5 m.

System ten będzie łączył elastyczność obrazowania lotniczego z globalnym obrazowaniem satelitarnym. Przemieszczając się nawet do 1700 km na dobę będzie mógł elastycznie reagować na występujące zachmurzenie i wykorzystywać nawet małe okna widoczności w pokrywie chmur. Taka elastyczność reagowania pozwoli wykorzystywać system do bardzo różnych zastosowań, szczególnie związanych z klęskami żywiołowymi (powodzie, pożary lasów), oceną szkód, bezpieczeństwem narodowym, monitorowaniem strefy przybrzeżnej, monitorowaniem upraw, wykrywaniem plam ropy naftowej, monitorowaniem rurociągów, itp. Wpisuje się to w potrzeby GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*) oraz inicjatywę INSPIRE (*Infrastructure for Spatial Information in Europe*). Pierwszy lot przewidywany jest na wiosnę 2006 r., rozwój w kolejnych latach przewiduje wzrost udźwigu aparatury obrazującej z początkowo 2 do 5 kg. W pierwszej kolejności przewiduje się zainstalowanie kamery cyfrowej, później systemu LIDAR a następnie systemu SAR i kamery termalnej (2008 r.).

## Perspektywy obrazowania satelitarnego

W minionych kilku latach obserwujemy znaczące zmiany w rozwoju obrazowania satelitarnego. Te zmiany można dostrzec w kilku zarysowanych trendach:

1. Przechodzenie od systemów subsydiowanych przez państwo na systemy komercyjne.
2. Przechodzenie od ciężkich i drogich satelitów na satelity małe. Określeniem „małe” obejmuje się satelity mikro (masa 10–100 kg), mini (masa 100–500 kg) i średnie (masa 500–



1000 kg). Ocenia się, że satelity małe w porównaniu z dużymi (masa powyżej 1000 kg) mogą dostarczyć 95% korzyści przy 5% kosztów lub 70% korzyści przy 1% kosztów satelitów dużych.

3. Łączenie w projektowanych systemach zarówno potrzeb wojskowych jak i cywilnych (tzw. systemy dualne).

4. Rozwój obrazowania w zakresie mikrofalowym (SAR).

Efektom tych zmian będzie zakończenie dużych programów LANDSAT i SPOT. Program SPOT będzie zastąpiony przez program ORFEO będący wynikiem porozumienia Francji z Włochami. W ramach tego porozumienia Francja będzie rozwijać program wysokorozdzielczego obrazowania w zakresie optycznym Pléiades HR, a Włochy dostarczać wysokorozdzielcze obrazy mikrofalowe (SAR) w ramach programu COSMO-SkyMed. W latach 2008-2009 przewiduje się uruchomienie dwóch satelitów z serii Pléiades HR które będą dostarczać obrazy z pikselem 0,7 m (Kurczyński Z., Wolniewicz W., 2002).

Do niedawna na rozwój techniki satelitarnej mogły sobie pozwolić tylko najbogatsze kraje. Obecnie, dzięki postępowi technicznemu i towarzyszącej mu miniaturyzacji, zbudowanie i umieszczenie na orbicie satelity teledetekcyjnego stało się dostępne dla wielu krajów. Koszt takiego przedsięwzięcia może zamykać się w kwocie 10-20 mln USD. Spowodowało to, że obecnie już 13 krajów umieściło na orbitach systemy o dużej i średniej rozdzielczości. Do końca dekady liczba ta wzrośnie do 20 (Stoney W., 2004). Obecnie mamy więc bogatą ofertę różnych systemów i ambitne plany na najbliższe lata. Ocenia się, że w przedziale rozdzielczości dużych i średnich:

- w zakresie optycznym operuje 26 systemów a dalszych 25 jest w planie,
  - w zakresie radarowym operują 3 systemy a dalszych 9 jest w planie (Stoney W., 2004).
- Wybrane z nich przedstawia tabela 2.

Na uwagę zasługuje m.in. system Pléiades – następca SPOT w zakresie optycznym, który będzie obrazował z pikselem 0,7 m w zakresie panchromatycznym i 2,8 m w 4 kanałach wielospektralnych.

W ramach programu NextView zawarto kontrakty z firmami DigitalGlobe i OrbImage na zbudowanie i operowanie systemów z pikselem 0,5 m. Budowane systemy będą miały nawet mniejszy piksel (0,41 m), ale ze względu na przepisy USA do odbiorców cywilnych nie mogą trafić obrazy z pikselem poniżej 0,5 m.

Wkrótce zostaną uruchomione satelitarne systemy radarowe SAR o rozdzielczości nawet do 1 m (tab. 2). Wśród nich należy wyróżnić dwa systemy europejskie, oba pracujące w zakresie X (3,1 cm):

- niemiecki TerraSAR-X,
- włoski SAR-X Cosmo-SkyMed-1 we współpracy z Francją.

Umieszczenie dwóch satelitów TerraSAR-X pozwoli tworzyć NMT o zasięgu globalnym o dokładności wysokościowej 2 m (tzw. projekt TanDEM-X). Rozpatrywana jest możliwość współdziałania dwóch systemów SAR-X Cosmo-SkyMed z 3-4 pasywnymi mikrosatelitami, co umożliwiłoby generowanie NMT o dokładności 1 m (tzw. projekt Cartwheel) (Jacobsen K., 2005}.

**Tabela 2.** Wybrane satelitarne systemy obrazowania [Jacobsen K., 2005]

Systemy optyczne					
System	Kraj	Rok wystrzelenia	Piksel [m] Pan/MS	Szerokość pasa obrazowania [km]	Uwagi
SPOT 5	Francja	2002	5/10/2,5 HRS 5x10	60 120	± 27° 23° przód, 23° wstecz
IRS P6, Resourcesat	Indie	2003	5,7 MS	24/70	± 26° w poprzek orbity
IKONOS-2, SpaceImaging	USA	1999	0,82/3,24	11	swobodne wychylenie
EROS A1	Izrael	2000	1,8 pan	12,6	swobodne wychylenie
TES	Indie	2001	1 pan	15	swobodne wychylenie
QuickBird-2 DigitalGlobe	USA	2002	0,62/2,48	17	swobodne wychylenie
OrbView-2, OrbImage	USA	2003	1/4	8	swobodne wychylenie
FORMOSAT-2 (ROCSAT-2)	Tajwan	2004	2/8	24	swobodne wychylenie
IRS-P5 Cartosat-1	Indie	2005	2,5 pan	30	-5°, +26° 2 kamery w orbicie
IRS Cartosat-2	Indie	2005	1 pan	10	swobodne wychylenie
Resurs DK1	Rosja	2005	1 / 2,5-3,5	28	swobodne wychylenie
EROS B	Izrael	2005	0,7 pan	14	swobodne wychylenie
EROS C	Izrael	2009	0,7 /2,8	11	swobodne wychylenie
CBERS 2B	Chiny, Brazylia	2005/2006	2,5/20		± 32° w poprzek orbity
WorldView1, DigitalGlobe	USA	2006	0,5/2		swobodne wychylenie
OrbView 5, OrbImage	USA	2006	0,41/1,64	15	swobodne wychylenie
THEOS	Tajlandia	2007	2/15		swobodne wychylenie
Pleiades 1	Francja	2008	0,7/2,8	20	swobodne wychylenie
Pleiades 2	Francja	2009	0,7/2,8	20	swobodne wychylenie

cd. tabeli 2

Systemy radarowe SAR					
ERS-1, ESA		1991	10–30	100	Kanał C, 5,6 cm
ERS-2, ESA		1995	10–30	100	Kanał C, 5,6 cm
JERS-1,	Japonia	1992	18	75	
RADARSAT-1	Kanada	1995	9–100	50–500	Kanał C, 5,6 cm
SRTM	USA, Niemcy, Włochy	2000	30 30	225 45	Kanał C, 5,6 cm Kanał X, 3 cm IfSAR
ENVISAT ESA		2002	30–1000	100–405	Kanał C, 5,6 cm pełna polaryzacja
SAR-X, CosmoSkymed-1	Włochy	2006	1–kilkadziesiąt	10–kilkaset	Kanał X, 3,1 cm
RADARSAT-2	Kanada	2006	3–100	20–500	Kanał C, 5,6 cm pełna polaryzacja
TerraSAR-X	Niemcy	2006	1/3/16	10/30/100	Kanał X, 3,1 cm
RISAT	India	2006	3–50	10–240	Kanał C
Surveyor SAR	Chiny	2007	10/25	100/250	Kanał C, 5 satelitów

## Stan obrazowania w Polsce – uwagi

Zaledwie kilka lat temu, na progu obecnego dziesięciolecia, brak było pokrycia kraju podstawowymi produktami cyfrowymi takimi jak NMT, ortofotomapa, czy baza danych wektorowych. Zrealizowany z sukcesem program PHARE 9206 pozwolił w latach 1995-1998 pokryć cały kraj kolorowymi zdjęciami w skali 1:26 000, oraz dodatkowo 20 aglomeracji miejskich w skali 1:5 000. Zdjęcia te umożliwiły rozwój wykonawstwa i technologii cyfrowych, ale nie przełożyły się na systematyczne krycie kraju produktami pochodnymi.

Zmiany w tym zakresie w minionych kilku latach nabrały niebywałego tempa. Obecnie mamy pełne pokrycie nowymi zdjęciami w skali 1:26 000, a dla 25% powierzchni 1:13 000. Z tych zdjęć wytworzono ortofotomapy odpowiednio z pikselem 0,5 m i 0,25 m. Dodatkowo powstał NMT o dokładności wysokościowej lepszej niż 1,5 m. Stało się tak dzięki współpracy GUGiK z ARiMR, w wyniku której zrealizowano koncepcję oparcia bazy LPIS na ortofotomapie, oraz podporządkowano jej parametry techniczne również innym potrzebom państwowej służby geodezyjnej. Rozbudowywany jest nowoczesny system archiwizacji i udostępniania produktów. Jesienią ubiegłego roku uruchomiono Satelitarne Centrum Operacji Regionalnych (SCOR) – trzecie takie centrum w Europie. W ten sposób staliśmy się z kraju odstającego krajem w czołówce europejskiej.

Obok wymienionych produktów cały kraj został pokryty Bazą Danych Ogólnogeograficznych (GUGiK), oraz, z inicjatywy Zarządu Geografii Wojskowej (ZGW) i częściowo we współpracy z GUGiK, mapą wektorową VMap 2. Prowadzone są prace nad Bazą Danych

Topograficznych (TBD). W wyniku porozumienia między GUGiK a ZGW rozpoczęto prace nad aktualizacją VMap 2, tzw. Szczegółową Mapą Wojskową (SMW), opartą na nowych ortofotomapach. Jest to optymistyczny obraz budowy krajowej infrastruktury informacji przestrzennej.

Dla zrealizowania tych zadań wykonawstwo krajowe stworzyło znaczny potencjał produkcyjny. Powszechny jest jednak stan oczekiwań i niepewności: co będzie dalej? Dotychczasowe duże zadania zostały zrealizowane w wyniku „odgórnych” decyzji za którymi poszły środki finansowe. Otwartym pozostaje pytanie, czy potencjalni użytkownicy do których trafiają produkty, w tym administracja rządowa i samorządowa do szczebla podstawowego włącznie, potrafią je wykorzystać i wygenerować zapotrzebowanie na nowe, sukcesywnie aktualizowane produkty? W krajach zachodnich to właśnie „oddolne” zapotrzebowanie lokalnej administracji napędza rozwój GIS. Czy uruchomiony potencjał w zakresie wykonawstwa zdjęć i opracowań produktów z nich pochodnych będzie zagospodarowany? To trudne pytania, ale stawiane w sferze produkcji. Jest to pytanie o przetrwanie i rozwój. Do tej pory w kraju nie zaistniała jeszcze kamera cyfrowa, nie był produkcyjnie wykorzystany LIDAR, nie były zastosowane obrazy radarowe. Najbliższe lata pokażą czy rodzimą „produkcję” stać będzie na wdrożenie tych technik. Warunkiem zaistnienia takiej szansy byłyby zadania umożliwiające poniesienie kosztów koniecznych inwestycji w nowe techniki.

### Literatura

- Cramer M., 2005: Digital Airborne Cameras – Status and Future. ISPRS Hannover Workshop 2005: High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information. Hannover, Germany. 17-20 May, 2005.
- Everaerts J. et al, 2005: A Stratospheric Platform for Remote Sensing and Photogrammetry. ISPRS Hannover Workshop 2005: High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information. Hannover, Germany. 17-20 May, 2005.
- Jacobsen K., 2005: High Resolution Satellite Imaging Systems – Overview. ISPRS Hannover Workshop 2005: High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information. Hannover, Germany. 17-20 May, 2005.
- Kurczyński Z., 2000: Lotnicza cyfrowa kamera fotogrametryczna. Nowe wyzwania i szansa. *Magazyn Geoinformacyjny – Geodeta* nr 12 (67), grudzień 2000, s. 5-11.
- Kurczyński Z., Wolniewicz W., 2002: Wysokorozdzielcze systemy obrazowania satelitarnego, część 1 (Piksel schodzi poniżej metra). *Magazyn Geoinformacyjny – Geodeta* nr 7 (86), s. 18-22.
- część 2 (Co oznacza piksel poniżej metra?) *Magazyn Geoinformacyjny – Geodeta* nr 8 (87), s. 26-30
- Mondello Ch., Hepner G., Williamson A., 2004: 10-year Industry Forecast. Study Documentation prepared for ASPRS. January 2004.
- Stoney W.E., 2004: ASPRS Guide to Land Imaging Satellites. Updated 10/07/04, <http://www.asprs.org>

### Summary

*For decades, photogrammetric studies were based on traditional aerial photos. Parallel to this “measurement” course, in the last decades „interpretation” course of photogrammetry developed taking advantage mostly of images of low and medium spatial resolution acquired in optical range (visible and infrared) from the satellite level. Both courses developed quite independent. The situation has rapidly changed in recent years. This is due to appearance of new possibilities of imaging the Earth: aerial digital cameras and satellite system with very high resolution, with a cartographic potential comparable to that of small scale aerial photos. Thus, possibilities of imaging from aerial level and from satellite level became much closer in technical terms.*

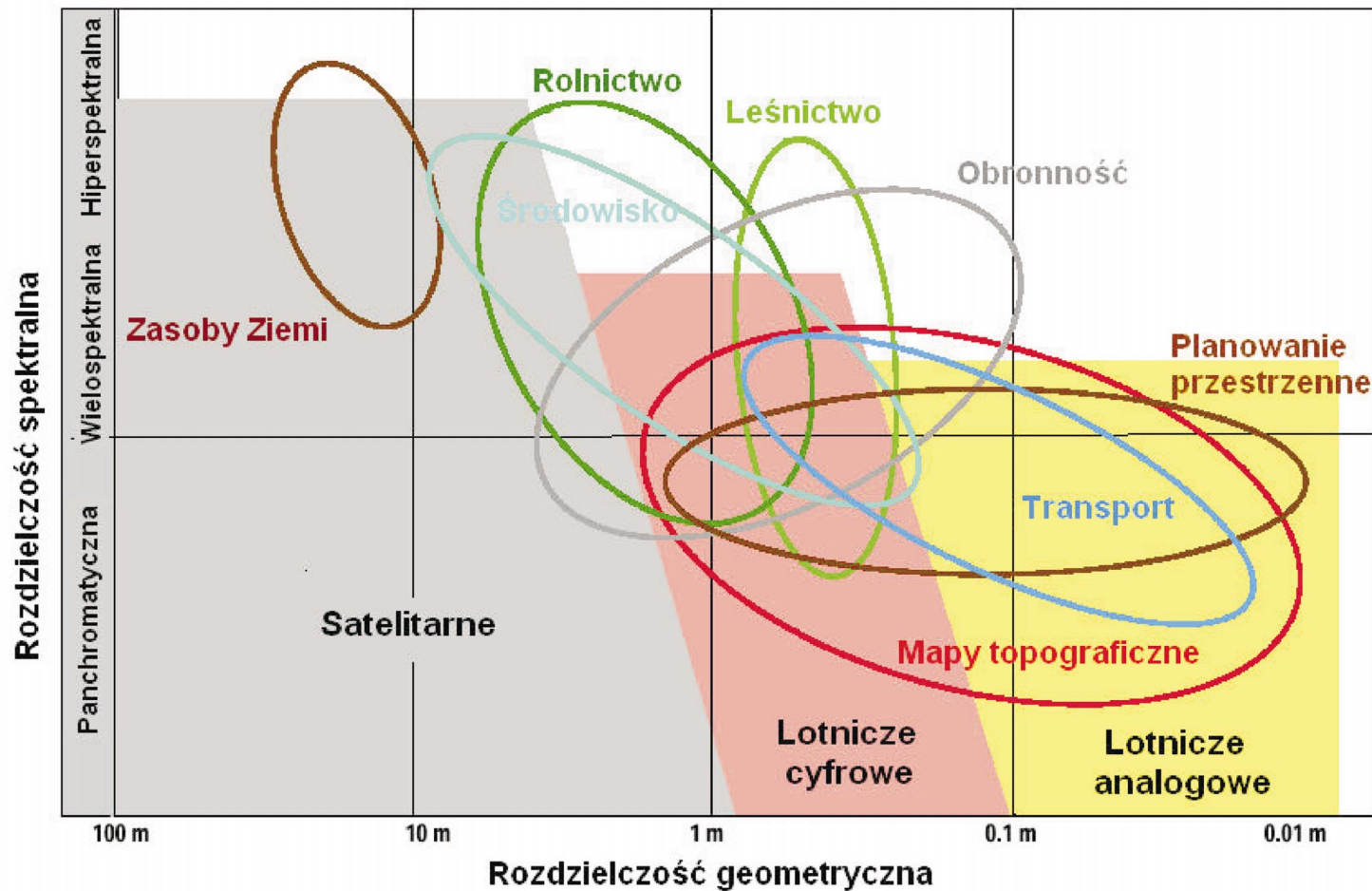
*This situation gave rise to vivid discussions in geoinformation community on the future of traditional aerial cameras and prospects of replacing them by digital cameras. With appearance and expected*

*development of satellite imaging with very high resolution, development prospects from aerial level raise doubts. Various opinions on these problems and various scenarios of their development appear. This variety of opinion is characteristic and it is additionally complicated by a appearance of new technical sources of imaging: aerial laser scanning, imaging in microwave range, including radar interpherometry (InSAR), and extensive plans of imaging from unmanned air ships operating on high aerial levels.*

*In the paper, an attempt was made to evaluate mutual competitiveness and complanarity of various technical means of Earth surface imaging and to compare their potential with the present and planned need for image data feeding spatial information systems. Current trends and development prospects for these means in the coming years were presented. Perspectives of development of satellite Earth imaging systems and their relations with development of aerial level imaging were more extensively discussed.*

*Finally, the present state of Poland's surface imaging and coverage with related products were presented within the context of creating national spatial information infrastructure.*

dr inż. Zdzisław Kurczyński  
kurczynski@wp.pl



Rys. 1. Oczekiwana rozdzielczość geometryczna i radiometryczna głównych branżowych sektorów zastosowań zdjęć i obrazów na tle technicznych środków obrazowania powierzchni Ziemi