

ROBERT WŁADYSŁAW BAUER, ARKADIUSZ PIOTROWSKI
Ministerstwo Obrony Narodowej
rwbauer@wp.pl; a.piotrowski@wp.mil.pl
GRZEGORZ STĘPIEŃ
Akademia Morska w Szczecinie
g.stepien@am.szczecin.pl

Wykorzystanie wysokorozdzielczych danych obrazowych w opracowaniach kartograficznych do celów wojskowych

Zarys treści. W artykule przedstawiono wykorzystanie wysokorozdzielczych danych obrazowych do celów wojskowych. Autorzy wskazali trzy zasadnicze obszary wykorzystania danych fotogrametrycznych i teledetekcyjnych, którymi są mapy wektorowe (bazy danych georeferencyjnych), analizy geoprzestrzenne oraz opracowania specjalne – mapy obrazowe (*image maps*). Przedstawiono zalety i ograniczenia ortofotomapy satelitarnej i innych opracowań specjalnych, wykonywanych i wykorzystywanych przez wojska NATO w warunkach pokoju oraz w strefie działań wojennych.

Słowa kluczowe: wysokorozdzielcze dane obrazowe, analizy geoprzestrzenne, bazy danych georeferencyjnych, mapa obrazowa

1. Wstęp

Wykorzystanie wysokorozdzielczych danych obrazowych w wojsku ma miejsce w trzech głównych obszarach działalności kartograficznej. **O b s z a r p o d s t a w o y** stanowią bazy danych georeferencyjnych, które są opracowywane głównie w czasie pokoju. **D r u g i o b s z a r** to analizy geoprzestrzenne, gdzie dane obrazowe są wykorzystywane wraz z danymi rastrowymi, wektorowymi (geobazy) i wysokościowymi (numeryczne modele terenu). **T r z e c i o b s z a r** wykorzystania wysokorozdzielczych zobrazowań terenu stanowią opracowania specjalne, które z uwagi na swoją specyfikę tworzone są głównie dla rejonów działań wojennych lub obszarów szczególnego zainteresowania. W ich skład wchodzi przede wszystkim mapy obrazowe (*image maps*), które mogą powstawać również z wykorzystaniem wspomnianych baz danych wektorowych oraz analiz geoprzestrzennych.

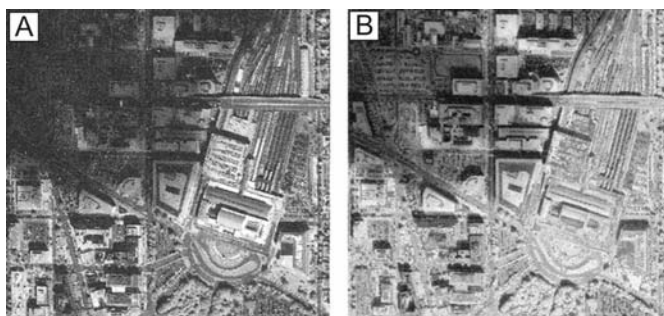
Osobny obszar wykorzystania wysokorozdzielczych danych obrazowych (nieomawiany w niniejszym artykule) stanowi rozpoznanie obrazowe. Zajmuje się ono analizą i interpretacją danych obrazowych. Wykorzystywane są tam, oprócz atrybutów obiektów (rozmiar, kształt, barwa, ton, zakres spektralny, wysokość, tekstura itd.), kontekst ich występowania, biblioteki znaków, dane katalogowe i wzorce porównawcze. Zastosowanie obrazów do tego typu analiz ma znaczenie przy pozyskiwaniu informacji do celów rozpoznawczych i wywiadowczych, a wyniki tych analiz, podobnie jak w typowych wielkoskalowych, wojskowych opracowaniach kartograficznych, prezentowane są na ogół na ortofotomapie.

2. Wysokorozdzielcze zobrazowania terenu

Wykorzystanie wysokorozdzielczych danych obrazowych w opracowaniach kartograficznych jest limitowane przez dwa czynniki: dokładność lokalizacji obiektów na zobrazowaniach oraz możliwość identyfikacji obiektów, obszarów lub zjawisk na tych zobrazowaniach.

Na dokładność lokalizacji obiektów na zobrazowaniach wpływa szereg czynników związanych z procesem rejestracji obrazu, rozmieszczeniem fotopunktów oraz metodami korekcji geometrycznej i radiometrycznej. Pozyskiwane dane są zniekształcone zarówno przez krzywiznę Ziemi, jak i wady zastosowanych sensorów. Ponadto pozyskiwanie informacji o wybranym obiekcie przebiega w sposób przypadkowy. Na tę „przypadkowość” mają wpływ nie w pełni możliwe do przewidzenia właściwości ośrodka przenoszenia informacji (powietrza) i powierzchni

rozpoznawanego obiektu. Zdjęcia lotnicze i obrazy satelitarne zawierają szумы związane z mgiełką atmosferyczną i nierównomiernym oświetleniem fotografowanego terenu. Znaczący jest wpływ tłumienia atmosfery na kontrast elementów tła. Ponadto obiekt rozpoznawany jest dzięki wysłaniu światła własnego i odbitego (A. Klewski, J. Sanecki, K. Maj i inni 2007). Wszystkie te czynniki sprawiają, że odczytywane ze zobrazenia współrzędne mogą znacznie różnić się od pomierzonych w terenie, osiągając błędy rzędu kilku pikseli. W interpretacji ma to jednak rzadko istotne znaczenie, ponieważ nie zmienia się wzajemne relacyjne rozmieszczenie obiektów terenowych (K. Maj, P. Pabisiak, G. Stępień i inni 2007).



Ryc. 1. Porównanie rozdzielczości radiometrycznej obrazów: A – obraz 8-bitowy, B – 11-bitowy; źródło: J. Sanecki (2006)

Fig. 1. Comparison of radiometric resolution of images: A – 8-bit image, B – 11-bit; source: J. Sanecki (2006)

Możliwość identyfikacji obiektów związana jest ściśle z rozdzielczością radiometryczną, spektralną i przestrzenną zobrażenia, a rozdzielczość czasowa ma znaczenie przy porównywaniu obrazów z różnych okresów. Określenie „wysokorozdzielcze” odnosi się na ogół tylko do rozdzielczości przestrzennej, która umownie przyjmowana jest dla tego typu zobrażeń, jako co najmniej 1 m. Obecnie w armiach NATO zobrazenia o niższej rozdzielczości wykorzystywane są tylko do opracowań średnio- i małoskalowych, na ogół w celach poglądowych (np. do zobrażenia stanowisk archeologicznych). Do celów kartograficznych wykorzystuje się w zasadzie wyłącznie zobrazenia wysokorozdzielcze.

Kojarzenie potencjału kartograficznego jedynie z rozdzielczością przestrzenną zobrażenia jest zatem błędem. W przypadku zobrażeń o niższej, np. ośmiobitowej rozdzielczości radiometrycznej (zdjęcia lotnicze) i jednocześnie wyższej rozdzielczości przestrzennej, w porównaniu do zobrażeń o jedynastobitowej rozdzielczości radiometrycznej (zobrazowania satelitarne), znacząco maleją możliwości interpretacji obiektów na zobrażowaniu (ryc. 1). Ma to szczególne znaczenie przy kartowaniu obszarów zadymionych, zapylonych (burze piaskowe) lub zamglonych. Dlatego do opracowań kartograficznych terenów trudnodostępnych (rejonów misji stabilizacyjnych, rejonów klęsk żywiołowych, obszarów napięć politycznych) preferowane jest użycie danych teledetekcyjnych o wyższej rozdzielczości radiometrycznej. Zdjęcia lotnicze są natomiast powszechnie wykorzystywane do opracowań kartograficznych w warunkach pokoju (np. do opracowania map topograficznych obszaru własnego kraju), gdzie większa jest ich dostępność i istnieje dodatkowo możliwość weryfikacji danych w terenie.

Jednocześnie większość ogólnodostępnych publikacji dotyczących wykorzystania zobrażeń satelitarnych w opracowaniach wielkoskalowych skupia się przede wszystkim na użyciu tych materiałów w celu aktualizacji innych map. Wynikowa dokładność położenia obiektów na mapie często odnosi się do wartości 0,3 mm, co dla przyjętej skali opracowania np. 1:5000, pozwala na wyznaczenie granicznego błędu położenia obiektów jako 1,5 m. Przykładowo, dla zobrażeń pozyskanych z sensorów QuickBird czy WorldView-2 jest to błąd w granicach 2–3 pikseli. Podejście to jest uzasadnione w warunkach pokoju i przy potraktowaniu ortofotomapy jako jednego z materiałów źródłowych służących do opracowania mapy. Nieco inaczej wygląda sytuacja przy wykorzystaniu ortofotomapy do celów operacyjnych. Obstrzeżenia przedstawione powyżej nie mają tu zastosowania. Dokładność lokalizacji obiektów jest wystarczająca

na poziomie 10 m (J. Sanecki, A. Klewski, G. Stępień i inni 2012), co jednocześnie w przybliżeniu pokrywa się z dokładnością „ręcznych” odbiorników nawigacji satelitarnej. Dokładność ta została potwierdzona przez autorów niniejszego opracowania w terenie, jak również znajduje swoje odzwierciedlenie w publikacjach naukowych (G. Stępień, P. Pabisiak, T. Dadas 2008).

Jak potwierdzają Z. Kurczyński i W. Wolniewicz (2006), czynnikiem limitującym przydatność obrazów satelitarnych nie są ich wysokie możliwości pomiarowe, ale ograniczone możliwości interpretacyjne. Jednocześnie autorzy podają, że stosowanie ścisłych modeli, dokładnych i jednoznacznie identyfikowalnych fotopunktów (błąd położenia około 0,5 m) i odpowiednio dokładnego numerycznego modelu terenu, pozwala uzyskać dokładność korekcji obrazów QuickBird na poziomie około 1 m, obrazów Ikonos 1–2 m i EROS 4 m. Takie wyniki odniesione do rozdzielczości tych obrazów, oznaczają możliwość korekcji na poziomie 1–2 pikseli. Dokładności te pozwalają na opracowanie map w skali 1:10 000, gdy piksel obrazu jest $\leq 0,65$ m, a dla skali 1:25 000 jest to wielkość $\leq 1,00$ m. Podejście to ma zastosowanie w przypadku opracowania lub aktualizacji map sytuacyjno-wysokościowych. Natomiast J. Sanecki, A. Klewski, G. Stępień i inni (2012) podają skale opracowań kartograficznych w funkcji wielkości piksela do celów operacyjnych: dla skali 1:2000 piksel obrazu wynosi $\leq 0,6$ m, a dla skali 1:3500 jest to ≤ 1 m. Widać zatem, że do celów operacyjnych (misje stabilizacyjne, klęski żywiołowe) możliwe do osiągnięcia skale opracowań na bazie obrazów satelitarnych są pięciokrotnie większe niż w przypadku analogicznych opracowań wytwarzanych w warunkach pokoju, do celów aktualizacyjnych. Opracowania kartograficzne tworzone w strefie działań wojennych podlegają innym rygorom, gdyż tu krytyczna jest możliwość interpretacyjna zobrazowania, a dokładność lokalizacji obiektów ma mniejsze znaczenie.

Wart odnotowania jest również fakt, że błąd położenia punktów nie zmienia wzajemnych relacji obiektów względem siebie, a jego wpływ na pomiar na zobrazowaniach np. elementów liniowych oraz pól powierzchni jest pomijalny. Przykładowo, szerokość drogi lub rzeki jest wciąż taka sama, w granicach zaniedbywal-

nych błędów, lokalne deformacje nie są wielkie, a relacje topologiczne są „odporne” na transformacje zobrazowań. Można więc dalej mierzyć powierzchnie i odległości ze świadomością, że bezwzględne położenie obiektów jest obarczone błędem (np. 10 m), natomiast długości mierzone są z błędami decymetrowymi, w zależności od rozdzielczości zobrazowania, która jest tu decydująca, co potwierdzili K. Maj, P. Pabisiak, G. Stępień i R. Wysota (2007). Mamy tu do czynienia z przesunięciem obiektów o pewien wektor, który w różnych obszarach zobrazowania będzie miał różny kierunek, zwrot i wartość. W tym sensie zniekształcenia mają charakter niejednorodny, ale nie są na tyle duże, aby w sposób istotny wpływać na dokładność pomiaru odległości i powierzchni na małych obszarach (lokalnie).

Obecnie w państwach NATO wykorzystuje się głównie wysokorozdzielcze dane obrazowe pozyskiwane z komercyjnych systemów satelitarnych takich jak IKONOS, QuickBird i WorldView-2. Są to zarówno dane panchromatyczne, jak i wielospektralne, rejestrowane w czterech pasmach spektralnych, w zakresie od 450 nm (niebieski) do 900 nm (bliska podczerwień). Do typowych celów kartograficznych nie są pozyskiwane dane z sensorów hiperspektralnych.

3. Bazy danych wektorowych

Wojskowe bazy danych wektorowych to przede wszystkim bazy VMap (*Vector Map* – mapa wektorowa, określane wcześniej również jako *Vector Smart Map*) poziomów 0, 1, 2 i 3 oraz MGCP (*Multinational Geospatial Co-production Program* – Wielonarodowy Program Wspólnej Produkcji Geoprzestrzennej). Poziomy VMap oznaczają rozdzielczość informacyjną opracowania: L0 – skala 1:1 000 000, L1 – skala 1:250 000, L2 – skala 1:50 000, L3 – skala 1:25 000. Obie bazy (VMap L1 oraz MGCP) powstały w ramach współpracy międzynarodowej (np. w ramach NATO), a VMap L2 (na obszar Polski) ramach współpracy krajowej, na mocy porozumienia pomiędzy Ministrem Obrony Narodowej a Głównym Geodetą Kraju.

W latach 2002–2006 geografia wojskowa zrealizowała wspólne z Głównym Geodetą Kraju oraz czterema urzędami marszałkowskimi projekt określany jako VMap L2 (mapa wektorowa poziomu drugiego na obszar kraju).

Wspomniane dane opracowane zostały w podziale arkuszowym typowym dla mapy w skali 1:50 000. W wyniku dalszych prac jednostek geografii wojskowej wytworzono jednorodną mapę wektorową o szczegółowości odpowiadającą skali 1:50 000 dla obszaru całego kraju oraz częściowo pokryto kraj opracowaniem VMap L3. Baza VMap L2 (podobnie jak inne pierwsze wydania opracowań wektorowych z początku XXI w.) pierwotnie została opracowana na podstawie wektoryzacji zeskanowanych materiałów analogowych. Obecnie aktualizowana jest jej postać cyfrowa, dzięki wykorzystaniu potencjału produkcyjnego jednostek wojskowych oraz dzięki pracom wykonywanym przez podmioty komercyjne w ramach zamówień publicznych. Na podstawie materiału cyfrowego realizowany jest druk map analogowych (papierowych) w skali 1:50 000. Utrzymanie w aktualności VMap L2 stanowi priorytet dla geografii wojskowej z uwagi na fakt, że mapa w skali 1:50 000 jest podstawowym materiałem kartograficznym wykorzystywanym przez wojska NATO.

Wcześniej podobny projekt (VMap L1) został wykonany wspólnie z dziewiętnastoma państwami (głównie należącymi do NATO), w odniesieniu do skali 1:250 000. Baza ta objęła zasięgiem prawie cały świat (wyjątek stanowi obszar Indonezji, dla którego ostatecznie nie opracowano VMap L1). W ramach tego projektu strona polska przygotowała trzy biblioteki danych z trzech kontynentów: Europy (obszar Polski), Ameryki Południowej (obszar Argentyny) oraz Afryki (obszar Zambii i Tanzanii).

Zdobyte doświadczenia, jak również potrzeby opracowania bardziej szczegółowych i aktualnych map (głównie w skali 1:50 000) zaowocowały uczestnictwem strony polskiej w Wielonarodowym Programie Wspólnej Produkcji Geoprzestrzennej, który współtworzony jest obecnie przez 32 państwa.

MGCP to projekt (baza georeferencyjna) o zasięgu globalnym, którego idea jest opracowanie danych obejmujących rejony zainteresowania poszczególnych państw członkowskich – uczestników programu (nie jest to *sensu stricto* program NATO), tereny potencjalnych konfliktów lub zagrożeń. Obszar opracowania podzielony został na „oczka” o rozmiarach $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, a uczestnicy programu zadeklarowali

wyprodukowanie do 2012 roku około 3300 „oczek” danych MGCP. Polska zobowiązała się do opracowania obszaru 28 „oczek” w pierwszej fazie projektu oraz minimum 23 „oczek” w fazie kolejnej. W programie MGCP istotną rolę odgrywa aktualność danych źródłowych, dlatego zdecydowano się na opracowanie map z wykorzystaniem wysokorozdzielczych zobrażeń satelitarnych. Ogólna zasada jest taka, że im więcej „oczek” się opracuje, tym więcej można pobrać ze wspólnego repozytorium. Dla Polski obecnie jest to współczynnik 4:1 (pobranie: do wkładu własnego), a po zakończeniu fazy drugiej, współczynnik ten wyniesie 6:1 (R. Bauer, S. Jakubiuk, K. Pokonieczny i inni 2012). Program MGCP okazał się niezwykle pomocny w opracowaniu map rejonu odpowiedzialności polskich wojsk w Afganistanie, gdzie wykorzystano m.in. „oczka” opracowane przez Amerykanów i Czechów.

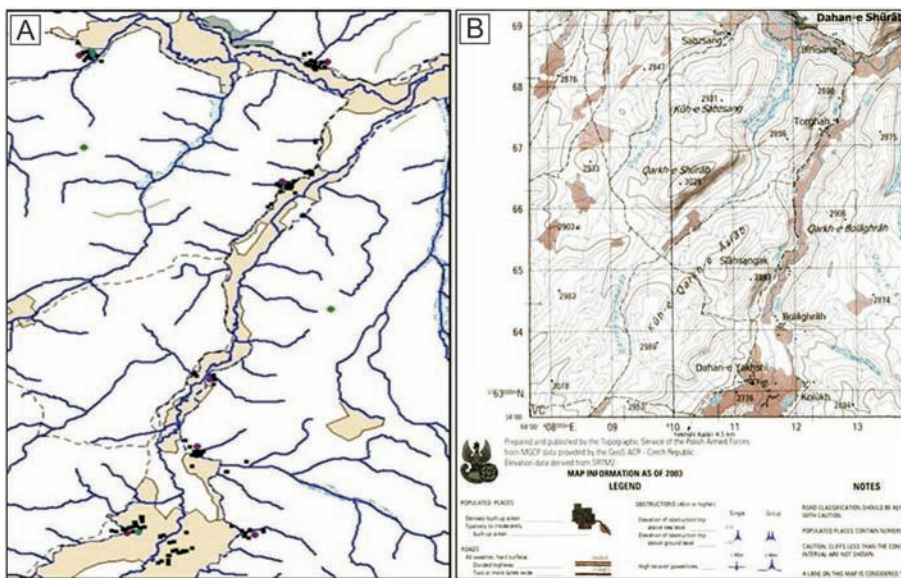
Cechą charakterystyczną danych w projekcie MGCP jest to, że nie obejmują one pełnego zakresu obiektów wymaganych do opracowania niektórych rodzajów map, np. mapy topograficznej. Dane te nie podlegają weryfikacji terenowej, a dokładność pozioma usytuowania obiektów nie powinna być obciążona błędem większym niż 25 metrów (K. Danilewicz, J. Pietruszka 2011). Pozostałe informacje geograficzne, jak rzeźba terenu, batymetria i inna informacja nautyczna, nazwy geograficzne oraz informacja lotnicza, istnieją w postaci osobnych cyfrowych baz danych i ich połączenie z danymi MGCP nie jest problemem (ryc. 2). Wynika to m.in. z faktu, że informacje dotyczące granic, ich przebiegu i statusu, mogą być (i często są) odmiennie traktowane w różnych krajach uczestniczących w programie, stąd w celu uniknięcia potencjalnych konfliktów interesów zdecydowano o nieumieszczaniu tego typu danych w MGCP.

Obie bazy danych georeferencyjnych VMap L2 i MGCP, pomimo że są opracowywane na tym samym poziomie szczegółowości odpowiadającym skali mapy 1:50 000 (MGCP może być również opracowywane w rozdzielczości informacyjnej odpowiadającej skali 1:100 000), to przede wszystkim bazują na różnych semantycznych i logicznych modelach danych. Różne są słowniki danych, tabele, atrybuty i ich dziedziny. Wspólną cechą obu baz jest jednak to, że są one tworzone i aktualizowane na

podstawie lotniczych lub satelitarnych danych obrazowych. Decydujące są tu kryteria aktualności i dostępności danych, a także rejonu opracowania. MGCP opiera się na wysokorozdzielczych zobrazeniach satelitarnych i tworzone jest na obszarach leżących poza granicami

4. Analizy geoprzestrzenne

Analizy oparte na danych obrazowych uzależnione są w głównej mierze od parametrów zobrażenia i związane są z właściwościami odbiciowymi obiektów, możliwym do rejestracji



Ryc. 2. A – „surowe” dane MGCP, B – przykład opracowania mapy topograficznej w skali 1:50 000 (Afganistan); źródło: J. Pietruszka, K. Danilewicz (2011)

Fig. 2. A – “raw” MGCP data, B – example of a topographic map elaboration in the scale 1:50 000 (Afghanistan); source: J. Pietruszka, K. Danilewicz (2011)

naszego kraju. Natomiast bazy wektorowe VMap tworzone były na podstawie danych obrazowych pozyskanych z pułapu lotniczego oraz innych materiałów kartograficznych.

Najważniejszą różnicą między MGCP a projektem VMap jest materiał źródłowy. Przyjęto, że dane MGCP powinny być zebrane ze źródeł najnowszych (nie starszych niż kilka lat) i możliwie najdokładniejszych. Spełnienie tych wymogów dla trudnodostępnych regionów świata, możliwe jest jedynie poprzez użycie wysokorozdzielczych scen satelitarnych. Źródła kartograficzne mają zastosowanie jedynie jako materiał uzupełniający (pomocniczy) w interpretacji zobrażeń satelitarnych (K. Danilewicz, J. Pietruszka 2011).

zakresem spektralnym oraz rozdzielczością spektralną, radiometryczną i przestrzenną. Analizy na podstawie danych wektorowych wykorzystują atrybuty i cechy geometryczne (i topologiczne) obiektów, a tłem do prezentacji wyników jest często ortofotomapa lotnicza lub satelitarna. Wynikiem analiz bardzo często jest również mapa hybrydowa (mapa obrazowa), która powstaje w wyniku nałożenia warstw wektorowych (informacyjnych) na ortofotomapę. Jest ona powszechnie wykorzystywana przez misje stabilizacyjne, jak również w opracowaniach specjalnych, takich jak mapy poligonów wojskowych i plany miast.

Analizy geoprzestrzenne wykonuje się na podstawie różnego typu danych przestrzennych:

– wysokościowych, które pozwalają na modelowanie trójwymiarowe;

– rastrowych w postaci map lub obrazów satelitarnych, lotniczych (także z bezpilotowych środków rozpoznawczych) – dane te są nie tylko źródłem informacji o pokryciu terenu, ale także m.in. o aktywności na sfotografowanym obszarze;

– wektorowych, które mogą być analizowane na podstawie atrybutów (opisowych i geometrycznych) oraz topologicznych właściwości obiektów.

Wykonywanie analiz wymuszane jest bardzo często przez ograniczoną znajomość obszaru

Na podstawie danych wysokościowych (numerycznych modeli terenu) możliwe jest tworzenie:

- wirtualnego rekonesansu terenu (ryc. 3),
- profili terenu (z możliwością oglądania terenu z pozycji obserwatora),
- wizualizacji spadków terenu,
- map wysokościowych,
- określania widoczności (także oświetlenia i zacielenia terenu).

Wspólną cechą opracowań kartograficznych powstałych na podstawie wykonanych uprzednio analiz geoprzestrzennych jest to, że efekty tych analiz często nanoszone są w postaci



Ryc. 3. Wirtualny rekonesans terenu; źródło: R. Bauer, S. Jakubiuk i inni (2012)

Fig. 3. Virtual reconnaissance of the area; source: R. Bauer, S. Jakubiuk et al. (2012)

działania. Analizy geoprzestrzenne stanowią także często podstawę zabezpieczenia geograficznego przemieszczania się wojsk. W tym celu wykonuje się np. mapę przejezdności terenu. Uwzględnia ona m.in. spadki terenu, które generowane są na podstawie numerycznego modelu terenu. Danymi dodatkowymi, używanymi do uszczegółowienia takiej analizy jest zastosowanie cieniowania rzeźby terenu oraz wykorzystanie warstw wektorowych na ogół o wyższej dokładności.

dotychczasowych warstw tematycznych na ortofotomapę lotniczą lub satelitarną. W ten sposób powstaje wielkoskalowa mapa obrazowa.

5. Misje stabilizacyjne

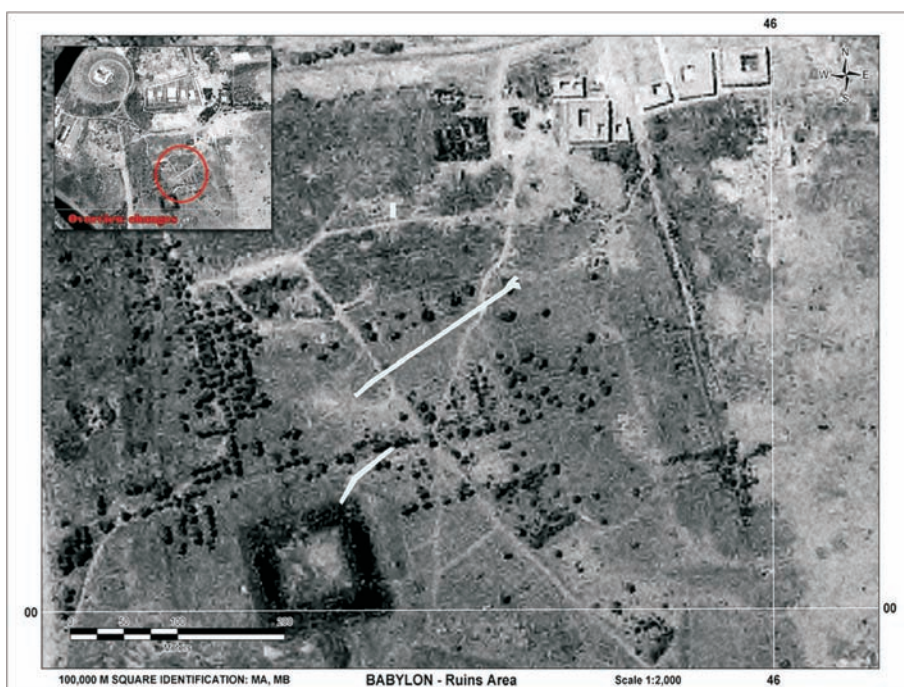
Wykorzystanie wysokorozdzielczych zobrazowań terenu na misjach stabilizacyjnych, w strefie działań wojennych jest powszechną praktyką. Bezpośrednią przyczyną takiego stanu jest specyfika panujących tam warunków

klimatycznych, meteorologicznych, logistycznych i organizacyjnych oraz bezpieczeństwo, a w szczególności:

- brak planów miast i innych opracowań wielkoskalowych,
- brak dostępu do terenu, stąd wykorzystanie zdalnych technik obrazowania terenu,
- krótki czas, niezbędny na przygotowanie danych przed wykonaniem zadania przez wojska, przy jednocześnie niezbyt czasochłonnym procesie opracowania mapy na podstawie obrazu,
- potrzeba szczegółowego obrazowania i analizy terenu,

Strefa działań wojennych jest szczególnym obszarem działalności wojskowej. Następuje tam zderzenie możliwości interpretacyjnych zobrazowań satelitarnych, wiedzy i możliwości sprzętowych wykonawców oraz potrzeb i oczekiwań odbiorców. Sprawia to, że staje się ona strefą działań eksperymentalnych.

Misje stabilizacyjne pokazały, że istnieje bardzo duże zapotrzebowanie na satelitarne zobrazowania rastrowe (ortofotomapy satelitarne), które obok map hybrydowych (obrazowych) należały do najczęściej wykorzystywanych produktów (ryc. 4). Wynika to nie tylko z dużej radiometrycznej i terenowej zdolności rozdziel-



Ryc. 4. Pomiar i opracowanie mapy zniszczeń Babilonu w skali 1:2000 wyszczególnione w dokumentacji dotyczącej przekazania Camp Alpha Irakijczykom przez wojska koalicji w 2005 r.; źródło: T. Dadas, G. Stępień (2006)

Fig. 4. Measurements and an elaboration of a map of war damage in Babylon in the scale 1:2000 specified in documents concerning handing over Camp Alpha to Iraqi people by coalition armies in 2005; source: T. Dadas, G. Stępień (2006)

- potrzeba pracy na aktualnych danych (obrazowanie w czasie rzeczywistym lub zbliżonym do rzeczywistego),
- niezawodność pozyskiwania danych obrazowych i ciągłość działania systemu.

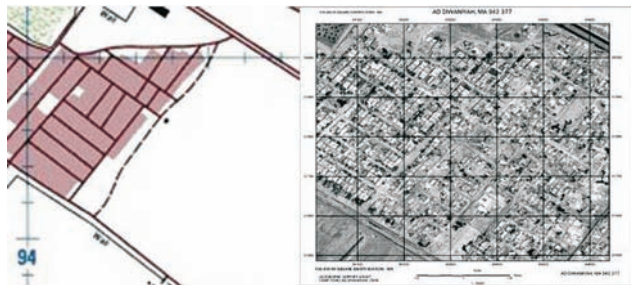
czej obrazów satelitarnych, ale i ze stanu aktualności tych materiałów. Mapy przy obecnym poziomie technicznym i technologicznym opracowywane są w długotrwałym procesie, na podstawie m.in. obrazów (w MGCP wyłącznie

na podstawie obrazów), wymagając zaangażowania dużej liczby ludzi i specjalistycznego sprzętu. Ponadto w warunkach pokoju nie wykonuje się praktycznie map wojskowych w skalach 1:2000, 1:3500 lub 1:5000. Skale te kojarzone są zazwyczaj z mapą zasadniczą, sporządzaną i aktualizowaną głównie do celów gospodarczych (T. Dadas, G. Stępień 2006).

Szczegółowość elementów odwzorowanych na wysokorozdzielczych danych obrazowych pozwala na opracowanie dokładnych analiz terenu. Przykładowo, na zdjęciach i obrazach możliwe staje się znalezienie i wskazanie przejść między budynkami. Na planach miast zabudowania w procesie redakcji kartograficznej zazwyczaj ulegają agregacji (ryc. 5). Na zdjęciach lotniczych i obrazach satelitarnych mamy natomiast do czynienia z wiernym odwzorowaniem terenu.

6. Mapy obrazowe

Obecnie najpowszechniej wytwarzanymi opracowaniami dla rejonów konfliktów zbrojnych lub katastrof naturalnych są mapy hybrydowe



Ryc. 5. Porównanie planu miasta i ortofotomapy satelitarnej tego samego obszaru

Fig. 5. Comparison of city map and a satellite orthophoto of the same region

(mapy obrazowe, uczytelnione ortofotomapy satelitarne), do opracowania których wykorzystuje się (podobnie jak w MGCP) dane teledetekcyjne. Dane te stanowią materiał źródłowy w analizie terenów trudnodostępnych. Wynika to głównie z charakterystyk i ograniczeń tego terenu. Równie często brak jest dla takich obszarów, zwłaszcza w przypadku (potencjalnych) konfliktów o podłożu polityczno-wojskowym, dostępnych map i innych materiałów kartogra-

ficznych, takich jak plany miast czy danych pomiarowych. Materiały są na ogół zdezaktualizowane lub niemożliwe jest jednoznaczne ustalenie statusu ich wiarygodności. Stosowane są w nich również bardzo często różne układy odniesienia, utrudniające integrację danych i szersze ich wykorzystanie (odczytywanie współrzędnych). W przypadku katastrof naturalnych lub spowodowanych działalnością człowieka na ogół mapy są dostępne, lecz obrazują stan infrastruktury sprzed kilku lub kilkunastu lat, m.in. z uwagi na dynamikę zachodzących procesów urbanistycznych, a nawet najbardziej szczegółowe plany miast nie przedstawiają wszystkich pojedynczych zabudowań, co ma często znaczenie przy planowaniu i prowadzeniu akcji ratunkowych lub operacji (J. Sanecki, A. Klewski, R. Bauer i inni 2012).

Ponadto, dynamicznie zmieniająca się sytuacja wymaga stałej aktualizacji danych potrzebnych do działań bieżących oraz do planowania np. kierunków ewakuacji, dróg zaopatrzenia, lokalizacji obozów przejściowych, szpitali polowych itd.

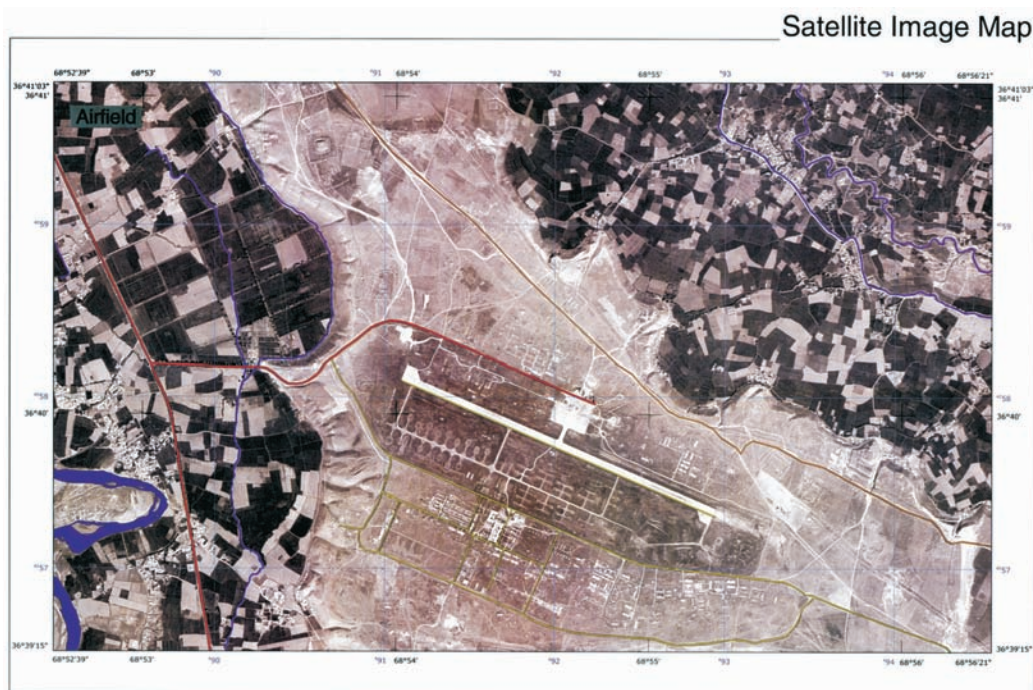
Mapy obrazowe stały się obecnie podstawowym materiałem kartograficznym w rejonach konfliktów i katastrof. Stanowią także materiał wynikowy (a czasem źródłowy) do prowadzenia dalszych analiz. Dzieje się tak dlatego, że są to mapy specjalne, a zatem niepodlegające rygorystycznym ograniczeniom standaryzacyjnym, w związku z czym zakres informacyjny, skala i rozmiary arkuszy dostosowane są do potrzeb każdego odbiorcy i realizowanego zadania. Opracowania te mogą dotyczyć: dróg przejezdnych w określonych warunkach, rejonów zastrzeżonych, pól minowych i dróg obej-

ścia, przekraczalności terenu, tras przemarszu, zobrazowania miejsc niebezpiecznych oraz wskazywania celów (ryc. 6).

Produkty te stanowią podstawowe źródło danych orientacyjnych dla wojsk znajdujących się na obszarach objętych działaniami zbrojnymi. Tego typu rozwiązania upowszechniają się nie tylko w armiach NATO, ale także w komórkach geoprzestrzennych Unii Europejskiej (UNITAR).

Przy tworzeniu „szybkich” opracowań kartograficznych (map obrazowych) bardzo istotny jest również fakt, że dane opracowanie przeznaczone jest tylko do konkretnych celów oraz w konkretnym czasie. Wynika to między innymi z ograniczonej dokładności położenia obiektów oznaczonych na tego typu opracowaniach. Mapy te nie są przeznaczone do precyzyjnej nawigacji lub np. do prowadzenia ognia. Na każdym arkuszu znajduje się stosowne ostrzeżenie, dotyczące ograniczeń stosowania danego opracowania.

danie i sytuacja były inne i wymagały dużych skal, a innym razem dodatkowo niestandardowej treści zgodnie z potrzebami odbiorcy, co sprawiło, że do operowania w terenie prawie wyłącznie wykorzystywane były mapy obrazowe, które stanowiły jedyny materiał wielkoskalowy. Mapy tradycyjne, ze względu na skalę i aktualność, wykorzystywano jako materiał uzupełniający i służyły głównie do celów logistycznych i transportu. W takiej sytuacji trudno było opracować jednolite zasady obligujące wykonawców do stosowania standardowych skal, znaków



Ryc. 6. Przykładowa mapa obrazowa opracowana w skali 1:10 000; źródło: T. Dadas, G. Stępień (2008)

Fig. 6. An example of an image map in the scale 1:10 000; source: T. Dadas, G. Stępień (2008)

Do niedawna standaryzacja w NATO nie obejmowała map w skalach większych niż 1:25 000. Opracowania hybrydowe (mapy obrazowe) na misjach stabilizacyjnych opracowywane były na podstawie indywidualnych wymagań odbiorcy, wynikających z charakteru realizowanego zadania, z wykorzystaniem doświadczenia i wiedzy kartografa (często w bardzo ograniczonym czasie). W dodatku każde za-

kartograficznych, treści czy narzucające np. odwzorowanie. Dobrze zdawali sobie z tego sprawę twórcy porozumienia standaryzacyjnego NATO – *STANAG 7169 Image Map*, którego pierwsze wydanie datuje się na rok 2009, sześć lat po rozpoczęciu misji irackiej „Iraqi Freedom”, w której brały udział polskie wojska. Dokument ten ma w zasadzie charakter zaleceń, zarówno w zakresie treści, jak i osnowy

matematycznej. Dopuszczalne są wszelkie odstępstwa łącznie z tym, że mapa może być opracowana na podstawie obrazu w rzucie środkowym (niezortorektyfikowanym). W ten sposób powstaje Operacyjne Zobrazowanie Terenu, które może być niekartometryczne, ale w praktyce (jeśli powstało) okazuje się przydatne i jest pozytywnie oceniane przez użytkowników.

7. Podsumowanie

Wykorzystanie wysokorozdzielczych danych obrazowych ma miejsce na etapie planowania oraz prowadzenia operacji zarówno wojskowych jak i cywilnych. W warunkach pokoju oprócz szkolenia wojsk opracowania te mają zastosowanie w zarządzaniu kryzysowym, nawigacji, logistyce i transporcie, gdzie do wykonywania analiz wykorzystywane jest głównie zaawansowane oprogramowanie GIS-owe. W operacjach militarnych zasadnicze znaczenie ma czas, dlatego do przygotowania analiz geograficznych, które wykorzystuje się w trakcie prowadzenia takich operacji, potrzebne są dane pozyskiwane z pułapu lotniczego lub satelitarnego oraz łatwe w użyciu i uniwersalne narzędzia.

Wysokorozdzielcze dane obrazowe stanowią główne źródło danych o terenie na potrzeby

wojska. Są podstawą tworzenia baz danych georeferencyjnych, VMap L2 oraz MGCP. Stanowią również ważne źródło wykonywania analiz geoprzestrzennych i jednocześnie są nośnikiem wyników tych analiz, które bardzo często przedstawia się właśnie na ortofotomapie satelitarnej.

Dzięki aktualnym danym obrazowym możliwe jest szybkie przygotowanie opracowań kartograficznych, które znajdują zastosowanie przede wszystkim w strefie działań wojennych, ale coraz powszechniej wykorzystywane są również w opracowaniach przeznaczonych na czas pokoju. Wykorzystanie zobrazowań satelitarnych jest coraz powszechniejsze i doprowadziło do powstania nowego typu produktów – map obrazowych (*image maps*), gdzie standardy wytwarzania opracowań dosyć luźno definiują zarówno system odniesienia mapy (odzworowanie, układ współrzędnych, układ wysokości, powierzchnia odniesienia) jak i jej treść. Ograniczony jest również zakres stosowania tych map (np. nie służą do precyzyjnej nawigacji). Najważniejszy jest tu rodzaj realizowanego zadania i wymagania odbiorcy, jednakże z powodu mniejszej dokładności położenia użytkownik musi być świadom ograniczeń co do dopuszczalnych zastosowań map obrazowych.

Literatura

- Bauer R., Jakubiuk S., Pokonieczny K., Stępień G., 2012, *Pełna informatyzacja opracowanie map i analiz geoprzestrzennych przez Geografię Wojskową*. „Geodeta” Nr 3, s. 52–56.
- Dadas T., Stępień G., 2008, *Geo w Afganistanie*. „Geodeta” Nr 2, s. 28–33.
- Dadas T., Stępień G. 2006, *Nasi znów w Iraku*. „Geodeta” Nr 10, s. 8–13.
- Danilewicz K., Pietruszka J., 2011, *Przymierze geografów*. „Polska Zbrojna” Nr 46/13 listopada 2011, s. 34–36.
- Klewski A., Sanecki J., Maj K., Niemiec Ł., Stępień G., 2007, *Safing of warfare operations using satellite imageries*. „Polish Journal of Environmental Studies” Vol. 16, no. 2B, s. 41–44.
- Kurczyński Z., Preuss R., 2000, *Podstawy fotogrametrii*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Kurczyński Z., Wolniewicz W., 2006, *Wysokorozdzielcze obrazy satelitarne jako źródło opracowania danych wektorowych w standardzie TBD*. „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji” Vol. 16, s. 385–394.
- Maj K., Stępień G., Metelica S., 2007, *Metody wykorzystania wysokorozdzielczych danych obrazowych w strefie działań wojennych*. „Geodeta” Nr 2, s. 39–43.
- Maj K., Pabisiak P., Stępień G., Wysota R., 2007, *Detekcja a identyfikacja. Od wykrywania do analizy technicznej*. „Geodeta” Nr 9, s. 26–31.
- Sanecki J., Klewski A., Bauer R., Stępień G., Maj K., Pabisiak P., 2012, *Wykorzystanie danych teledetekcyjnych w analizie terenów trudnodostępnych*. „Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej” Nr 283, z. 59, s. 277–285.
- Sanecki J. (red.), 2006, *Teledetekcja. Pozyskiwanie danych* (praca zbiorowa). Warszawa: Wydawn. Naukowo-Techniczne.
- Stępień G., Pabisiak P., Dadas T., 2008, *Okiem żołnierza*. „Geodeta” Nr 11, s. 28–32.

Very High Resolution Imagery Data in Cartographic Elaborations for Military Use

S u m m a r y

Keywords: very high resolution imagery data, geospatial analysis, georeferenced data bases, image map

The article presents the application of very high resolution imagery data in military cartographic elaborations. Three basic areas of application photogrammetry and remote sensing data have been indicated: vector maps (georeferenced data bases), geospatial analysis and special elaborations – image maps. Basic vector data bases created by NATO using very high resolution imagery data are mainly Vmap bases (vector map bases) with detail levels corresponding to information resolution of particular scales of cartographic elaboration: L0 – 1:1 000 000, L1 – 1:250 000, L2 – 1:50 000 and L3 – 1:25 000. Military vector maps (Vmap) enable spatial analyses using topology of presented terrain objects and attributes assigned to them. The other data base elaborated as part of an international agreement (including Poland) which uses very high resolution satellite images is the basis created within the framework of the MGCP project (Multinational Geospatial Co-production Program), in which 32 countries currently participate. MGCP is a global basis. The idea of the project is to create data for regions of interest, areas of current and potential conflicts and threats. The characteristic feature of data in the MGCP project is the fact that they don't include a full range of objects required to create some kinds of maps, e.g. the topographic map. These data cannot be field verified and horizontal detail of object location should have an error of no more than 25 meters. Information concerning borders, their course and status can be treated differently in each country

taking part in the program, so in order to avoid potential conflict of interest it has been decided not to include such data in MGCP.

The article also presents special elaborations done during stability missions in Iraq and Afghanistan. Image maps have presently become basic cartographic material in regions of conflict and hazards. They also constitute the basis for conducting further analyses. They are special maps (which thus do not undergo strict standard limitations), so the information range, scale and sheet size are conformed to particular user needs and the task performed.

Application of very high resolution area imageries on stability missions in war zones is common practice. This is done because of the particularities of climatic, meteorological, logistical and organizational conditions as well as safety precautions. The article characterizes kinds of image data used by the army while showing the possibilities of creating cartographic elaborations and conducting geospatial analyses on the basis of this data.

Through current image data it is possible to create quick cartographic elaborations mainly used in war zones, but which are more and more often made useful in elaborations intended for use during times of peace. Usage of satellite images has led to the emergence of a new type of product – image maps. Their elaboration standards have a loosely defined reference system and content range. Their applications are limited, e.g. they cannot be used for precise navigation. The kind of realized task and map addressee requirements are decisive here.

Translated by M. Horodyski