

Metody wykorzystania wysokorozdzielczych danych obrazowych w strefie działań wojennych – artykuł recenzowany

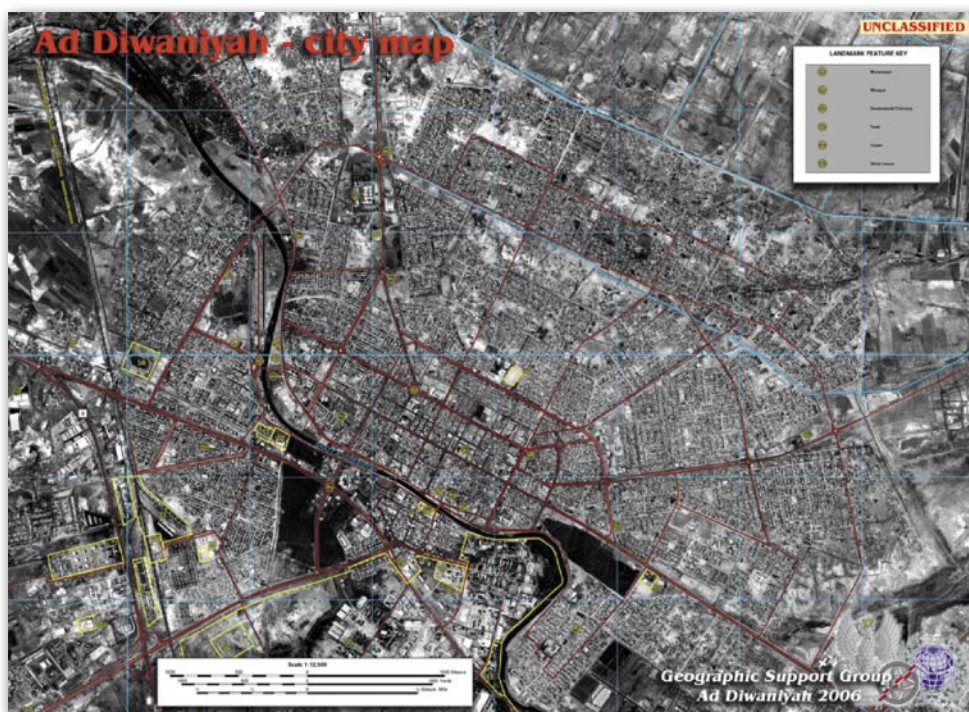
# WOJSKO NIE BAWI SIĘ W CENTYMETRY

Rozpoznanie obrazowe to obecnie jedno z najbogatszych źródeł informacji wykorzystywanych w rozpoznaniu wojskowym i planowaniu działań, m.in. w rejonach misji pokojowych. Dlatego przetwarzanie zdjęć satelitarnych stało się głównym zadaniem Grupy Wsparcia Geograficznego działającej w strukturze Wielonarodowej Dywizji Centrum-Południe w Republice Iraku.

GRZEGORZ STĘPIEŃ,  
KONRAD MAJ,  
SYLWERIUSZ METELICA

Strefę działań wojennych określa minister spraw zagranicznych w drodze obwieszczenia. Obecnie uznawane są za nią terytoria: Islamskiego Państwa Afganistanu, Republiki Iraku oraz Libanu. Datę ustania tego stanu określa odrębne obwieszczenie. W dotychczasowej działalności zabezpieczenia geograficznego nasz udział należy odnotować w Bośni i Hercegowinie (nieuznawanej obecnie za strefę działań wojennych) oraz w Iraku, gdzie działa Grupa Wsparcia Geograficznego. Planowany jest także nasz udział w Afganistanie.

Strefa działań wojennych rządzi się swoimi prawami. Zderzenie możliwości interpretacyjnych zdjęć satelitarnych, wiedzy i możliwości sprzętowych wykonawców z potrzebami i oczekiwaniami odbiorców sprawia, że staje się ona



Rys. 1. Satelitarna ortofotomapa Diwanii (fragment), skala oryginału 1:12 500

strefą działań eksperymentalnych. Brak standaryzacji produktów wielkoskalowych (takich jak ortofotomapy) czy metod uczytniania zdjęć satelitarnych tylko pogłębia ten stan.

## • STREFA DZIAŁAŃ WOJENNYCH A STANDARYZACJA

STANAG-i (*Standardization Agreement* – porozumienie standaryzacyjne), a także Normy Obronne (opracowywane często na podstawie STANAG-ów z uwzględnieniem polskiej specyfiki, tradycji i przepisów) są dla geodety woj-

skowego tym, czym instrukcje techniczne dla geodety cywilnego. STANAG jako podstawowy akt normatywny NATO określa sposoby realizacji zadań, wymagane dokładności i zakres treści wytwarzanych produktów, w tym także map. STANAG-i o treści jawnej udostępniane są w całości na stronie internetowej NATO. Natomiast za Normy Obronne trzeba na ogół Wojskowemu Centrum Normalizacji, Jakości i Kodyfikacji zapłacić.

W NATO standaryzacja nie obejmuje produktów w skalach mniejszych niż 1:1 000 000 oraz w skalach większych

niż 1:25 000. Wszystko to wyróżnia strefę działań wojennych jako obszar nie do końca zdefiniowany wykonawczo. W Iraku mieliśmy bowiem najwięcej pracy w szeregu skalowym od 1:1000 do 1:10 000. Ponadto działaliśmy w misji wielonarodowej, w skład której wchodziły również wojska nienależące do NATO. Czy wobec tego – nawet gdyby istniały odpowiednie standardy – powinny być wtedy stosowane? Czy taka kompletna standaryzacja jest potrzebna? Czy może w takich sytuacjach wystarczy zdrowy rozsądek wykonawczy?

### ● ROZDZIELCZOŚĆ OBRAZU CYFROWEGO

W codziennej praktyce rozdzielczość danych obrazowych bardzo często błędnie kojarzona jest tylko z terenowym wymiarem piksela i utożsamiana z terenową zdolnością rozdzielczą zdjęcia. Tymczasem obraz cyfrowy charakteryzuja dwa podstawowe parametry:

- **rozdzielczość radiometryczna** – zdolność rozróżniania wielkości odbicia naziemnych obiektów,

- **rozdzielczość geometryczna** – scharakteryzowana „terenowym wymiarem piksela”.

Rozdzielczość geometryczną obrazu cyfrowego określa liczba punktów, wyznaczając liczbę kolumn i wierszy macierzy pikseli, czyli „długość” i „szerokość” obrazu. Na tej podstawie, znając rzeczywistą długość i szerokość zarejestrowanego obszaru w terenie, możemy wyznaczyć terenową wielkość piksela.

Rozdzielczość radiometryczna, wyrażana najczęściej w bitach, określa liczbę poziomów szarości (głębię kolorów) zarejestrowanego spektrum elektromagnetycznego. Mówiąc prościej, jest to rozdzielczość „barwna” lub „odcieniowa”. Rozdzielczość radiometryczna w wielu zastosowaniach (nie tylko wojskowych) odgrywa decydującą rolę. Przy porównaniu zdjęć satelitarnych czy lotniczych pochodzących z różnych okresów olbrzymie znaczenie dla możliwości interpretacyjnych ma szerokość przedziału barwnego (liczba poziomów szarości) opracowywanego zdjęcia. Przy różnej liczbie poziomów szarości należy najczęściej „spłyć” jeden z obrazów, by odpowiadał przedziałom poziomu szarości drugiego – „płytszego” obrazu. Taka sytuacja ma miejsce, gdy porównujemy ze sobą obraz satelitarny i lotniczy – uboższy pod względem radiometrycznym. Rzutuje to oczywiście na możliwość wykrycia ewentualnych zmian,



Rys. 2. Porównanie rozdzielczości radiometrycznej obrazów: po lewej obraz 8-bitowy (256 poziomów szarości), po prawej – 11-bitowy (2048 poziomów szarości)

którą w praktyce limituje „słabsze” z porównywanych zdjęć.

Autorzy niektórych opracowań wyróżniają również **rozdzielczość czasową** obrazu, określaną przez częstotliwość rejestracji tego samego obszaru przez satelitę, co może mieć znaczenie w badaniach zmian zachodzących na powierzchni Ziemi.

### ● ORTOFOTOMAPA SATELITARNA – MAPA ZASADNICZA DLA WOJSKA

W strefie działań wojennych w Iraku okazało się, że dla skal największych korzystaliśmy najczęściej ze zdjęć „półmetrych” (piksel około 0,6 m). Poczynając od skal 1:5000, a nawet 1:3500, różnice między zdjęciami „półmetrymi” i „metrymi” zacierają się. Zaskakujący był fakt, że zdjęcia „metry” opracowane w skali 1:3500 (zaledwie około 3,5 piksela na mm) „podobaly się”, a odbiorcy twierdzili, że są dobre i absolutnie wystarczające. Te same zdjęcia opracowane w skali 1:2000 wydawały się im „nieostre”. Dodatkowym kryterium wyboru materiału źródłowego (zdjęcia) była jego aktualność.

Eksportując opracowane materiały z formatów CIB (MrSid) lub CADRG do TIFF lub JPEG, w praktyce sztucznie zwiększaliśmy rozdzielczość zazwyczaj ze 150 do 300 lub 270 dpi. Taki zabieg nie powoduje oczywiście zwiększenia możliwości interpretacyjnych zdjęcia, ale daje wizualny efekt wygładzenia krawędzi. Odwrotnie było przy porównywaniu zdjęć z różnych okresów, gdzie potrzebowaliśmy „ostrzych”

krawędzi. Zwiększenie rozdzielczości 2-krotne czy 1,n-krotne powoduje, że program na nowo wylicza jasności pikseli, korzystając z pikseli sąsiednich i uśredniając ich wartość. Biorąc pod uwagę, że na zdjęcie satelitarne (ortofotomapę) nie patrzymy zazwyczaj z odległości kilku centymetrów (jak na fotografii rodzinnej), uzyskiwaliśmy wizualne złudzenie odpowiednio wysokiej rozdzielczości.

W praktyce w zastosowaniach wojskowych dla zobrazowań „metrych” wyznaczyliśmy granicę 1:3500, a dla zdjęć „półmetrych” – nawet 1:1000! Wartość graniczna, którą w zasadzie określili odbiorcy naszych produktów, wahała się pomiędzy 2 a 3 piksele na mm. Efekt był jeszcze lepszy, gdy produktem wynikowym była ortofotomapa satelitarna z dodatkowo nałożonymi warstwami wektorowymi. Ciekawe, że im bardziej zbliżaliśmy się do skali 1:10 000, tym bardziej zdjęcie satelitarne wydawało się odbiorcom nieczytelne. Na mapach pewne elementy, jak choćby szerokość drogi, nie są przedsta-

Rys. 3. Zdjęcie satelitarne z pikselem „półmetrym” opracowane w skali 1:1000



wiane w skali, ulegając przewiększeniu. Dlatego zdjęcia satelitarne dla tych skal muszą być uczyelnione.

Co więcej, ortofotomapy w dużych skalach wydawały się odbiorcom lepsze od planów miast. Plany miast nie umożliwiają jednak analizowania przejść między budynkami, a gęsta zabudowa ulega często agregacji (grupowaniu). Zdjęcie satelitarne opracowane w skali 1:1000 lub 1:2000 (dla opisywanych przez nas rozdzielczości) już takie możliwości daje. Dla zdjęć „metrowych” – bez potrzeby ich uczyelniania – najbardziej odpowiedni szereg skalowy zawierał się w przedziale mianownika skali 3500-8000.

## ● UAV – ROZPOZNANIE OBRAZOWE POLA WALKI

UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) bezzałogowy statek powietrzny – podobnie jak wielozadaniowy samochód HMMWV (*High Mobility Multi-Purpose Wheeled Vehicle*), znany w cywilnej wersji jako Hummer – jest platformą wykorzystywaną m.in. do rozpoznania obrazowego. Potencjał kartograficzny (interpretacyjny) otrzymywanych zdjęć można z powodzeniem przyrównać do satelitarnych zdjęć „półmetrowych”. Zaletą systemu jest jego mobilność i możliwość rejestracji w sposób absolutnie dyskretny terenów „gorących”, trudno dostępnych lub istotnych w planowaniu działań, a także aktualność pozyskiwanych danych. Istnieje również możliwość rejestracji obrazów w nocy, w zakresach termalnych. W Iraku pozyskiwaniem i przetwarzaniem zdjęć dla potrzeb naszej dywizji zajmowały się komórki podporządkowane rumuńskiej grupie rozpoznawczej (ROMIG – Romanian Intelligence Group), działającej podobnie jak nasza grupa „Geo” w strukturach rozpoznania wojskowego.

Niewątpliwą wadą systemu jest jednak fakt, że jest on niezwykle wrażliwy na warunki pogodowe, jak również to, że rejestracji podlega stosunkowo niewielki fragment terenu. Silny wiatr i duże zapylenie praktycznie uniemożliwiają użycie systemu, czego byliśmy częstymi świadkami. W efekcie pozyskiwanie informacji staje się dosyć przypadkowe. Jednakże sam fakt otrzymywania obrazów niemal na bieżąco, jest trudny do przecenienia. W praktyce bardzo często uzyskane w ten sposób zdjęcia były uzupełniane przez Grupę Wsparcia Geograficznego zdjęciami satelitarnymi tego samego obszaru i obszarów sąsiednich, by dać szerszy wgląd w charakterystykę analizowanego terenu. Stwarzało to również możliwość



Rys. 4. Fragmenty zdjęć uzyskanych z UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*)

wykrycia zmian w zabudowie i zagospodarowaniu obszarów zainteresowania.

## ● CZWARTY WYMIAR

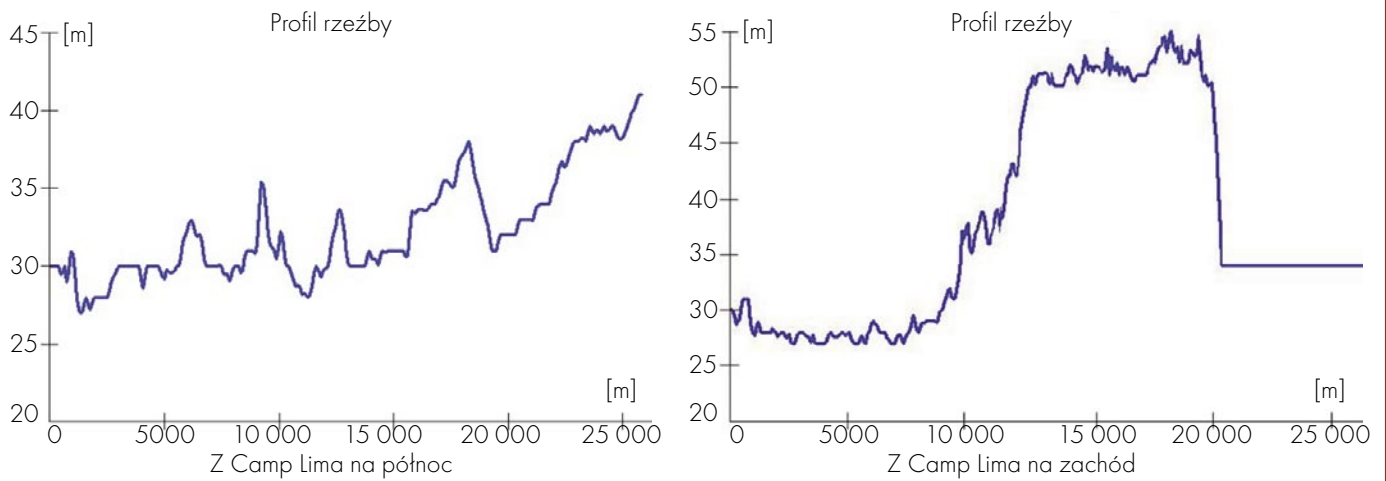
Porównanie obrazów satelitarnych z różnych okresów może się odbyć oczywiście metodą „na oko”. Świadome i celowe zastosowanie metod automatycznych daje jednak szybsze i bardziej konkretne wyniki, a wielkość wykrywanych zmian

uzależniona jest głównie od parametrów wejściowych użytych w „odejmowaniu” zdjęć. W Iraku wykorzystywaliśmy do tego celu oprogramowanie ERDAS.

Przy wykrywaniu zmian na zdjęciach bardzo ważną rolę odgrywają jasności pikseli. Chodzi tu o różnicę jasności poszczególnych pikseli ze starego i nowego zdjęcia (rys. 5). Optymalny efekt osiąga się wtedy, gdy histogramy obu porówny-



Rys. 5. U góry z lewej zdjęcie stare, z prawej zdjęcie nowe. Poniżej wynik „odjęcia” zdjęć z użyciem narzędzia Change Detection programu ERDAS: po lewej – w skali szarości, po prawej – w kolorach umownych



Rys. 6. Wykorzystanie DTED (Digital Terrain Elevation Data) do tworzenia profili terenu

wanych zdjęć są „zbieżne”. Chodzi o to, by niezmiennione obszary miały podobne jasności poszczególnych pikseli. Histogram przedstawia rozkład (w formie graficznej lub tablicy) częstości występowania w obrazie cyfrowym poszczególnych poziomów jasności. Samo doprowadzenie do zgodności histogramów dwóch zdjęć nie stanowi większego problemu. A wyrównanie rozdzielczości radiometrycznej, w przypadku zdjęć o różnej liczbie poziomów szarości, można uzyskać dzięki narzędziu *Histogram Matching*. Wyrównanie histogramu powoduje redystrybucję wartości pikseli w taki sposób, że utworzonych zostaje w przybliżeniu tyle samo pikseli dla każdej wartości z danego przedziału. Rozciągnięty i wyrównany kontrast wzrasta na wierzchołku histogramu, a maleje na brzegach charakterystyki. Dzięki dokonanej operacji doprowadzamy do „utajenia pikseli”. Oznacza to, że obszar, na którym nie zostały wykryte zmiany, zostaje po prostu pominięty.

W efekcie uzyskujemy ten fragment zdjęcia, w którym wykryto jakieś zmiany. Na prezentowanym przykładzie (fot. 5) widać nowy budynek. Jeśli jednak obszar użyty do analizy byłby większy, a nowych zabudowań byłoby więcej, to w wyniku przeprowadzonego procesu otrzymalibyśmy warstwę przedstawiającą nowo powstałe obiekty. Metoda okazuje się bardzo przydatna w analizowaniu zabudowań na terenach spodziewanej aktywności zorganizowanych grup terrorystycznych. Porównywane zdjęcia mogą być analizowane w dowolnym układzie współrzędnych, a istotą operacji stanowi zbieżność rozdzielczości geometrycznej i barwnej obu obrazów. Jesteśmy to w stanie osiągnąć, wykorzystując narzędzia programu. Ponadto zdjęcia muszą być „wpasowane”, tzn. nałożone na siebie, czyli przetransformowane do tego samego układu mapy (nieważne jakiego). ERDAS jest tak zaprojektowany, że już przy zmianie jasności piksela o jeden poziom,

można wykryć zmianę. Oczywiście takie wykrywanie zmian nie ma zastosowania i dlatego przedziały, w których mają być obserwowane, muszą być szersze. Przed porównaniem wskazane jest również wzmocnienie kontrastu obrazów, by uzyskać bardziej miarodajne wyniki. Otrzymany obraz w barwach umownych można ponownie nałożyć na jedno ze zdjęć, by uwypuklić wykryte zmiany.

W zależności od charakteru działań wojskowych i wielkości obszaru warto mimo wszystko rozważyć, czy nie skorzystać z metody „na oko”, lub dla kontroli skonfrontować ją później z otrzymanymi wynikami. W przypadku analizowania większego obszaru automatyczne porównanie daje szybsze i pewniejsze efekty. Poza militarnymi zastosowaniami metoda ta może być też przydatna w badaniu zmian zachodzących na powierzchni Ziemi, w tym zmian środowiska.

#### • NUMERYCZNY MODEL TERENU W STANDARDZIE DTED

DTED (*Digital Terrain Elevation Data*) to format wymiany danych dla Numerycznego Modelu Terenu stosowany w NATO. Istotą modelu stanowi zbiór punktów o znanych współrzędnych ( $x, y, z$ ) oraz zastosowanie odpowiednich algorytmów interpolacyjnych umożliwiających odtworzenie kształtu terenu. Do częstych zastosowań zaliczyć można tworzenie modeli przestrzennych i wizualizacji 3D. Należy również pamiętać o NMT jako istotnym etapie w procesie tworzenia ortofotomapy. W strefie działań wojennych był on wykorzystywany głównie do tworzenia map wysokościowych terenów wokół naszych baz.

Stworzenie profilu terenu z dowolnego punktu w dowolnym kierunku (rys. 6) mogło mieć dwojakie zastosowania. Po pierwsze, pozwalało z pewnym przybliżeniem przewidzieć „martwe pola” (pola niezagrażone) w przypadku ostrzału moździerzowo-rakietowego z zadanego

kierunku. Umożliwiało też prognozowanie ewentualnych kierunków ostrzału. Po drugie, mogło być cenną wskazówką w wyszukiwaniu optymalnych miejsc rozmieszczenia radarów. Ponadto nałożenie modelu na mapę czy zdjęcie satelitarne dawało naturalny wgląd w charakterystykę i ukształtowanie terenu (rys. 7). Powstała w ten sposób cyfrowa (ortofoto)mapa stanowiła cenne uzupełnienie informacji wykorzystywanych w planowaniu (przeciw)działań.

#### • METODA „WPROST” I METODA „ODWROTNA”

W istocie metody te należały do najbardziej bezpośrednich i najprostszych. Bardzo często w Iraku zdarzało się, że przychodzili do „Geo” dowódcy różnego szczebla, różnych komponentów, zazwyczaj komórek wykonawczych i bojowych, by popatrzeć na monitorze na zdjęcia terenu. Często szukaliśmy też i wskazywaliśmy cele, dysponując fotografiami z lotów rozpoznawczych. Nie zawsze powstałe na tej podstawie ortofotomapy były później plotowane, czasami wystarczał sam plik. Przyprawiano też do nas osoby, które „coś widziały”, po to, by pomogły odszukać interesujące obiekty i podać ich współrzędne. Ale bywało też odwrotnie: otrzymywaliśmy współrzędne przywiezione z terenu i wskazywaliśmy obiekt. Opisywane metody wiązały się z bezpośrednią współpracą z ludźmi, którzy sami chcieli zobaczyć, jak wygląda teren, miejsca, gdzie byli lub do których mieli dotrzeć. Metody te, bardzo wartościowe poznawczo, łączyły możliwości interpretacyjne obrazów satelitarnych operatorów stacji graficznych (wykonawców) z wiedzą i wyobraźnią bezpośrednio zainteresowanych odbiorców.

#### • POTENCJAŁ KARTOGRAFICZNY ZDJĘĆ SATELITARNYCH

Powszechnie znany jest fakt, że oko ludzkie potrafi rozróżnić około 20 linii

w milimetrze (10 par linii czarnych i białych). Można więc uznać, że rozdzielczość fotografii 600 dpi (około 24 linii w milimetrze) jest absolutnie wystarczająca. W praktyce niewielu z nas jest jednak w stanie odróżnić wydruk wykonany z rozdzielczością 600 i 300 dpi. A widoczna niekiedy różnica w nasyceniu barw jest raczej wynikiem nie do końca właściwej pracy drukarki lub użycia nieodpowiedniego papieru.

Biorąc pod uwagę fakt, że na mapę (ortofotomapę) nie patrzymy z odległości kilku centymetrów, należy zastanowić się, czy ta granica nie powinna być jeszcze przesunięta w stronę mniejszych rozdzielczości. W praktyce wykazaliśmy, że znacznie niższa rozdzielczość, zwiększona sztucznie do 270 dpi, okazuje się na ogół wystarczająca. Ponawia to pytanie o potencjał kartograficzny zdjęć satelitarnych i o przydatność ortofotomapy, w tym w zastosowaniach wojskowych. Geometryczna zdolność rozdzielcza wraz z analizą przestrzeni barwnej rozpatrywanych obrazów stanowi podstawę do określenia dokładności identyfikacji obiektów na zdjęciu. Obok aktualności danych stanowi o ich przydatności.

Dla obrazów cyfrowych bardzo często przyjmuje się, że terenowa zdolność rozdzielcza równa jest podwójnej wartości piksela i nie powinna przekraczać wartości 0,2 mm w skali opracowania (Kurczyński, Preuss, 2000). Jest to jednak spojrzenie na zdjęcie satelitarne pod kątem aktualizacji map topograficznych. Przydatność tę ogranicza również fakt, że zdjęcie satelitarne „płyne” po przestrzeni matematycznej. Odczytywane ze zdjęcia współrzędne mogą znacznie różnić się od pomierzonych w terenie, osiągając błędy rzędu kilku pikseli. Duży wpływ na to ma rozmieszczenie fotopunktów, dokładność ich wyznaczenia i wybrane metody korekcji geometrycznej zdjęć. Poza tym na właściwą rejestrację obrazu rzutują czynniki związane z procesem samej rejestracji, takie jak krzywizna Ziemi czy wady zastosowanych sensorów.

Ponadto należy stwierdzić, że pozyskiwanie informacji o wybranym obiekcie przebiega w sposób dosyć przypadkowy. Mają na to wpływ właściwości ośrodka przenoszenia informacji (powietrza) i powierzchni rozpoznawanego obiektu. Zdjęcie lotnicze i obrazy satelitarne zawierają szumy związane z mgiełką atmosferyczną i nierównomiernym oświetleniem fotografowanego terenu. Znaczący jest np. wpływ tłumienia at-



Rys. 7. Nałożenie DTED na plan miasta w skali 1:12 500, w centralnej części widoczne trzy wierzchołki Babilonu tworzące trójkąt równoboczny (wierzchołki w czerwonym kolorze)

mosfery na kontrast elementów tła. Ponadto obiekt rozpoznawany jest dzięki wysłaniu światła własnego i odbitego. Charakteryzowanie obiektu za pomocą widmowego współczynnika odbicia może nieco ułatwić zadanie. Analizując w ten sposób przestrzeń barwną zdjęcia, możemy łatwiej zinterpretować zdjęcie, rozpoznać poszukiwany obiekt. Jednak odczytane współrzędne nadal różnią się od terenowych.

Oddzielnym zagadnieniem jest etap wykrycia („co widać”) i rozpoznania obiektu („co konkretnie widać”), a także jego scharakteryzowania. By rozpoznać i scharakteryzować obiekt, potrzeba zazwyczaj wielu pikseli. Do scharakteryzowania jednej z jego cech, np. szerokości, w sprzyjających warunkach wystarczy jednak jeden piksel.

W praktyce zastosowań wojskowych zadowalające są jednak dokładności metrowe. Wystarczy, że wykonawca zadania odnajdzie obiekt w terenie, a niedokładne czy nawet błędne odczytanie współrzędnych nie zmienia wzajemnych relacji przestrzennych obiektów odwzorowanych na papierze w postaci mapy (ortofotomapy). Obiekt można zlokalizować, a o to przecież chodzi.

Dla korzystających z map nie są istotne dokładności submetrowe, a jedynie to, by dotrzeć na miejsce i się nie zgubić. Plany miast, choć dokładnie oddające prze-

strzeń, nie zapewniają sukcesu w odnalezieniu konkretnego budynku. Dlatego z punktu widzenia wykonania zadań wojskowych, a nie aktualizacji map topograficznych, uzyskiwane obecnie dokładności wydają się wystarczające.

Por. GRZEGORZ STĘPIEŃ

(22WOK, Komorowo) – oficer ds. topografii i oceny terenu, III zmiana PWK Irak, szef Grupy Wsparcia Geograficznego, VI zmiana PWK Irak

DR INŻ. KONRAD MAJ

– wykładowca i pracownik naukowy WAT;

KPT. SYLWERIUSZ METELICA

(19SOG - Leszno) – członek Mobilnego Zespołu

Zabezpieczenia Geograficznego

– sił odpowiedzi NATO (2004-2006);

Recenzent: PROF. DR HAB. INŻ. JÓZEF SANECKI

kierownik Katedry Teledetekcji i Geoinformatyki

WAT, członek Komitetu Geodezji PAN

#### Literatura:

- 1. Sanecki J. (red.): Teledetekcja – pozyskiwanie danych, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2006;
- 2. Sobczyński E., Tomaszewski Z., Sielecki J.: Polskie wojskowe mapy w standardach NATO (przewodnik), ZGW, Warszawa 2000;
- 3. Kurczyński Z., Preuss R.: Podstawy fotogrametrii, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000;
- 4. Sanecki J., Klewski A., Cwojdzinski L., Maj K., Kamiński P.: Metoda poprawy dokładności lokalizacji obiektów z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych, Zeszyty Naukowe nr 70 Wyższej Szkoły Morskiej, Szczecin 2003;
- 5. ERDAS Field Guide – Przewodnik geoinformatyczny, Geosystems Polska, Warszawa 1998.