

Mariusz Miłek  
Jarosław Kuciński

## **EFEKTYWNOŚĆ AKTUALIZACJI MAPY 3D W SKALI 1:1250 MIASTA ABU DHABI W OPARCIU O ZDJĘCIA 1:6000.**

W zaprezentowanym artykule przedstawiono wyniki efektywności pomiarów aktualizacyjnych w oparciu o pięć przykładowych sekcji mapy w skali 1:1250 miasta Abu Dhabi (Zjednoczone Emiraty Arabskie). Pomiarzy były wykonywane technologią fotogrametrii cyfrowej z wykorzystaniem ImageStation oraz SSK firmy Intergraph. Ponadto w opracowaniu przybliżono problematykę digitalizacji stereoskopowej materiałów pochodzących z systemów klasy 2.5D.

### **1. Wstęp**

Przedmiotem zlecenia było wykonanie aktualizacji mapy miasta Abu Dhabi w skali 1:1250 w oparciu o czarno-białe zdjęcia lotnicze w skali 1:6000. Pokrycie podłużne wynosiło od 60-80%, a poprzeczne od 30-60%, największe w północnej części wyspy z zabudową wysoką (wieżowce o wysokości średnio 80m). Aktualizacji podlegały wszystkie elementy sytuacji i rzeźby, łącznie z elementami naziemnymi uzbrojenia terenu. Rzeźba terenu na mapie reprezentowana była przez pikiety i linie nieciągłości. Przekazana mapa stanowiła graficzną prezentację systemu SpaceWare, należącego do grupy systemów 2,5D. Przekazane zbiory posiadały więc oprócz współrzędnych XY także Z jako atrybut. Wszystkie prace fotogrametryczne wykonane były na ImageStation, oraz SSK firmy Intergraph. Jako, że niebyła możliwa konwersja danych z systemu SpaceWare do środowiska MicroStation korzystano z formatu pośredniego DXF.

Niniejsze artykuł stanowi prezentację wyników efektywności wykonanego opracowania wraz z opisem elementów mających bezpośredni wpływ na zaprezentowaną statystykę. Ponadto przybliżono problematykę pomiarów stereoskopowych opracowań 3-wymiarowych pochodzących z systemów 2,5D.

### **2. Skąd dane i tak szczegółowe zestawienie wyników opracowania?**

Wszystkie prace począwszy od strojenia zdjęć, poprzez aerotriangulację i wykonanie aktualizacji kameralnej na konwersji formatów zakończywszy odbywały się w Okręgowym

Przedsiębiorstwie Geodezyjno – Kartograficznym „OPeGieKa” w Elblągu, a więc w firmie produkcyjnej. W tego typu firmach na ogół nie ma czasu na tworzenie zestawień, statystyk oraz szczegółowych analiz opracowań, chyba że wymagane jest to przez zleceniodawcę. Tak było też w tym przypadku. Po przekazaniu sporej części gotowego już opracowania pojawiły się uwagi ze strony partnerów z Abu Dhabi, o zbyt dużej liczbie pominiętych elementów, które należało domierzyć w terenie. Rozwiązaniem problemu okazało się pięć przykładowych sekcji opracowania, których notatniki zmian wraz z zaznaczonymi pominiętymi elementami zostały przesłane do Firmy, celem kontroli w oparciu o zdjęcia. Ponumerowano wszystkie oznaczone miejsca na notatnikach, następnie pogrupowano wszystkie przypadki w cztery kategorie elementów i zestawiono w tabelach z wyszczególnieniem następujących pozycji:

- Elementy typu A: pominięte przez operatora;
- Elementy typu B: słabo odfotografowane, lecz wniesione w oparciu o notatnik;
- Elementy typu C: źle odfotografowane, nie wniesione mimo notatnika;
- Elementy typu D: niewidoczne na zdjęciach;
- Suma elementów w sekcji;
- Suma elementów zmodyfikowanych (także nowych i usuniętych);
- Procent zmian na sekcji;
- Liczba zaznaczonych elementów na notatniku zmian.

Ponumerowane notatniki wraz ze sporządzonymi tabelami przesłano do Abu Dhabi. Tabela nr 1 stanowi sumaryczne zestawienie wykonanego opracowania.

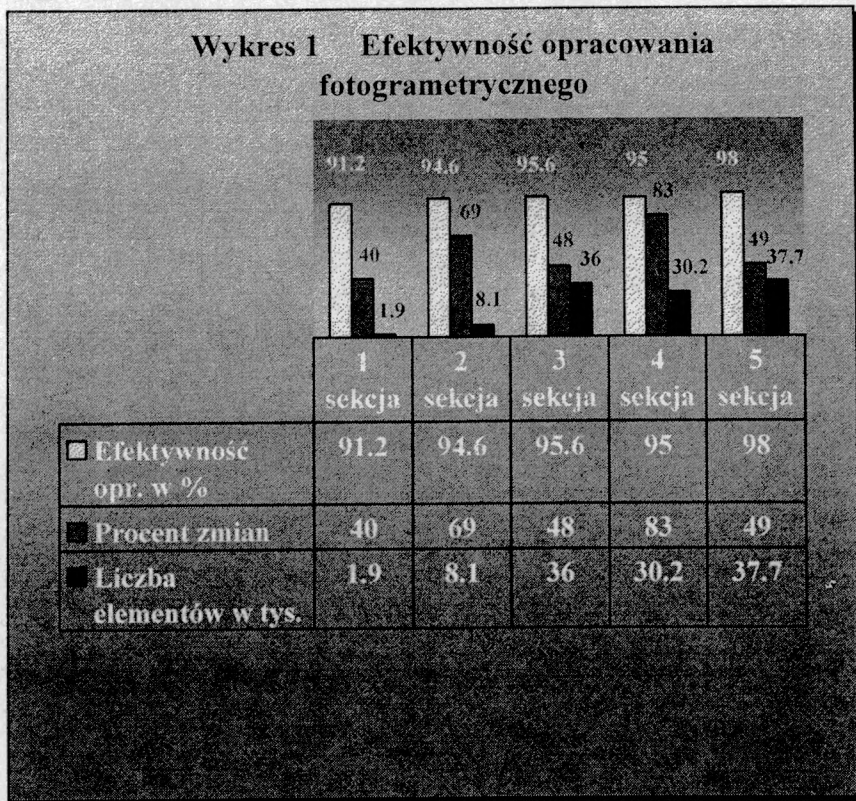
**Tabela nr 1. Zestawienie wyników pomiaru dla 5 przykładowych sekcji**

	Sekcja Nr 5	Sekcja Nr 10	Sekcja Nr 86	Sekcja Nr 63	Sekcja Nr 74
<b>Liczba elementów w sekcji</b>	1 925	8 182	36 034	30 253	37 700
<b>Liczba elementów zmodyfikowanych (także nowych i usuniętych)</b>	765	5 697	11 937	25 040	18 409
<b>Liczba elementów oznaczonych na notatnikach</b>	73	324	546	1305	377
<b>Liczba elementów pominiętych przez operatora</b>	15	49	48	81	37
<b>Liczba elementów wniesionych w oparciu o notatnik</b>	6	35	95	148	35
<b>Liczba elementów słabo odfotografowanych, nie wniesionych</b>	3	32	5	11	33
<b>Liczba elementów niewidocznych</b>	49	208	398	1065	272

### 3. Efektywność pomiaru fotogrametrycznego

Posiadając zestawienia dla pięciu sekcji wykonano obliczenia mające na celu określenie efektywności pomiarów fotogrametrycznych w technologii dwuobrazowej, przy aktualizacji mapy numerycznej 3D w skali 1:1250. Wyniki zestawiono w formie wykresu nr 1 (Rys. 1). Jako efektywność opracowania przyjęto iloraz liczby elementów zaktualizowanych fotogrametrycznie do liczby wszystkich zmienionych elementów w opracowaniu.

Z wykonanego zestawienia wynika, że przeprowadzona obserwacja stereoskopowa zdjęć czarno-białych w skali 1:6000 przyniosła ok. 95% (91,2%-98%) danych do aktualizacji mapy zasadniczej w skali 1:1250.



Rys. 1.

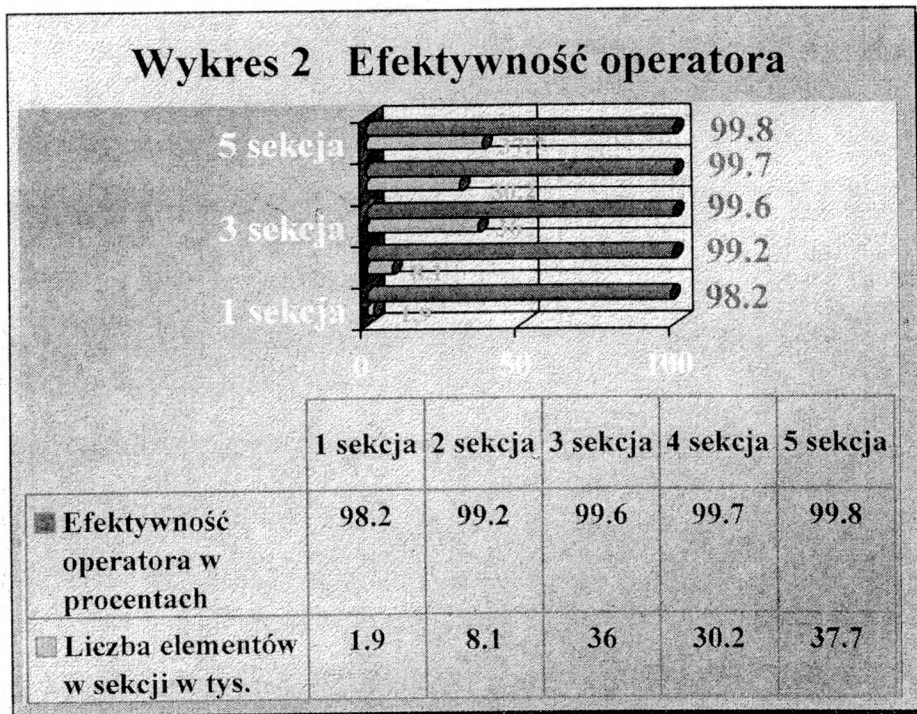
Należałoby się zastanowić co stanowi pozostałe 5% (2%-8.8%) danych, co sprawiło, że nie zostały one wydobyte z opracowania fotogrametrycznego, a wymagały pomiaru terenowego. Przyczyn było kilka:

#### **Błędy interpretacyjne i pominięcia operatora.**

Ta hipoteza wymagała najszerszej analizy, bo uzależniony był od niej tryb postępowania. Od tego ile elementów zostało pominiętych zależała decyzja o wykonaniu uzupełniających pomiarów fotogrametrycznych w oparciu o notatniki zmian. Efektywność operatorów ilustruje wykres nr 2 (rys. 2.).

Wykonane zestawienie dowiodło jednego, błędy i pominięcia operatora nie były główną przyczyną braku informacji o położeniu oznaczonych elementów na notatnikach zmian. Ekonomicznie nieuzasadnioną w tym momencie wydawała się decyzja o uzupełnieniu pomiaru fotogrametrycznego w oparciu o notatniki zmian. Tym bardziej że wiązało się to

ze skanowaniem notatników i przesyłaniu ich pocztą elektroniczną (Przesyłka tradycyjna Abu Dhabi – Elbląg nie wchodziła w grę z przyczyn czasowych). Jasnym było, że niezbędny będzie pomiar terenowy. Dodatkowo na korzyść operatorów wskazywała statystyka, skuteczność w lokalizacji zmian rzędu 99,3% nie wymagała zbytniego komentarza.



Rys. 2.

### Upływ czasu

Zdjęcia były wykonane w marcu 1999r. Prace rozpoczęto w czerwcu, a aktualizację wykonywano w okresie od sierpnia do grudnia tego roku. Sekcje były przekazywane sukcesywnie, stąd ich weryfikacja terenowa rozpoczęła się we wrześniu, a więc pół roku po wykonaniu zdjęć. Pół roku to niewiele, biorąc jednak pod uwagę tereny mocno zainwestowane to wystarczająco dużo aby nastąpiły zmiany. Znaczna część wyspy, to właśnie takie tereny z dużą ilością ogrodzonych obszarów w budowie. Podczas prac terenowych stwierdzono w miejscu rozkopów wykończone budynki, chodniki, włązy uzbrojenia podziemnego itd. Takie właśnie sytuacje stanowiły sporą część elementów oznaczonych na notatnikach.

### **Obszary przysłonięte i nieodfotografowane**

Północna część wyspy to osiedla z wysoką zabudową, 80-metrowymi wieżowcami. Mimo iż pokrycie podłużne w szeregach było w granicach 80%, a poprzeczne 60% nie wszystkie tereny były dostępne do obserwacji stereoskopowej, a czasami nawet monoskopowej. Zdjęcia wykonywane były przy ostrym świetle. Przy takich zobrazowaniach elementy w cieniach są zazwyczaj słabo widoczne, jeżeli się w ogóle odfotografują. Część z nich mogła zostać zatracona także w wyniku skanowania. Dotyczyło to głównie niewielkich, mało kontrastujących z tłem obiektów, jak elementy naziemne uzbrojenia terenowego, choć nie tylko. Fakt pozostaje jeden, wpłynęło to w dużej mierze na obniżenie efektywności opracowania.

### **Błędy w fotointerpretacji**

Aby uniknąć błędów fotointerpretacyjnych zostały wprowadzone do pomiarów fotogrametrycznych trzy dodatkowe kategorie elementów, jak nierozpoznane punkty, linie i powierzchnie. Atrybuty tych elementów zostały przypisane w terenie, stanowiło to i tak lepsze rozwiązanie, niż całkowity pomiar terenowy. Nie ustrzeżono się jednak błędów, dotyczyło to głównie obszarów przemysłowych o dużej liczbie elementów. Operator musiał zdecydować, które z elementów podlegają pomiarowi, a które można pominąć. Nadmienić należy że prace odbywały się na obcym materiale kartograficznym, rządzącym się innymi niż polskie instrukcje techniczne. Przykładem jest tu sekcja nr 5 zawierająca port nad kanałem. Uzyskał on znacznie gorszą statystykę, bo nie zostały pomierzone podjazdy do hangarów, zostały one wprawdzie obwiedzione, ale nie wydzielono na nich obszarów o innej nawierzchni. Operator uznał, że jest to bez znaczenia, było jednak inaczej. Takie sytuacje jednak na innych obszarach występowały rzadko.

## **4. Problematyka digitalizacji stereoskopowej materiałów pochodzących z systemów klasy 2.5D.**

Niniejszy punkt poświęcony problemom napotkanym w trakcie wykonywania opracowania jest niejako kontynuacją i rozwinięciem referatu prof. Idziego Gajderowicza wygłoszonego na Sympozjum w Mierkach k. Olsztyna we wrześniu 1999 roku.

Zasadnicza trudność w realizacji zadania wynikała z faktu, że dostarczona mapa pochodziła z systemu o nazwie SpaceWare, zaliczanych do systemów 2.5D. Jest to system dwuwymiarowy, w którym informacja o wysokościach punktów jest tylko jednym z parametrów opisujących elementy składowe. Fakt ten miał zasadnicze znaczenie przy opracowywaniu technologii aktualizacji mapy. Problematykę opracowania zdominowały głównie trudności związane z techniką aktualizacji mapy, oraz problemy z poprawnym przeniesieniem danych wektorowych do środowiska systemu SpaceWare.

Tak jak zaznaczono wcześniej zasadniczy problem stanowił brak w pełni trójwymiarowej mapy, gdyż tylko taką mapę można bez przeszkód obserwować na tle stereoskopowego modelu fotogrametrycznego. Duża część elementów tworzących oryginalną mapę (punkty oraz wierzchołki linii) nie miała określonej wysokości, a to za sprawą

punktowi wysokość równą 0m. Fakt ten użytkownikowi systemu SpaceWare nie robił większej różnicy w praktyce jednak uniemożliwiał operatorowi stacji fotogrametrycznej porównanie, czy dany obiekt starej mapy jest identyczny z obiektem terenowym. Zaistniała zatem konieczność „ulepszenia” starej mapy pod kątem przystosowania jej do procesu aktualizacji.

Niestety żadne automatyczne procesy, które naprawiałyby w sposób kompleksowy tę sytuację nie mogły być zastosowane. Główną przeszkodę stanowił fakt, że punkty które posiadały skażone wysokości nie „leżały” tylko na powierzchni terenu, lecz znajdowały się również na innych wysokościach. Pomocnym okazał się fakt, że teren miasta Adu Dhabi jest płaski, a średnia deniwelacje terenu nie przekraczają 2.5 m. Ułatwiło to procedurę postępowania w przypadku elementów położonych na powierzchni terenu (studnie i włazy kanalizacyjne, krawężniki itp.). Elementom tym nadawano średnią wysokość terenu na obszarze sekcji. W przypadku, gdy deniwelacje terenu były zbyt duże, elementy podnoszono na średnią wysokość uzyskaną z mniejszego obszaru niż sekcji.

Więcej problemów napotkano w przypadku elementów liniowych i powierzchniowych nie leżących na terenie. W tej sytuacji typowe były dwa przypadki. Pierwszy z nich dotyczył elementów, których wszystkie punkty składowe znajdowały się na wysokości 0 m, drugi zaś obejmował elementy o skażonych kilku punktach. Rozwiązanie przypadku pierwszego polegało na nadaniu całemu obiektowi odpowiedniej wysokości wyznaczonej w oparciu o pomiar stereoskopowy. Po tej czynności operator bez przeszkód mógł dokonać weryfikacji danego elementu i ewentualnej jego korekty. Rozwiązanie przypadku drugiego nasycało więcej problemów. Najczęściej sytuacja taka miała miejsce, gdy do budynku mierzonego po okapie dołączane były inne elementy liniowe, np. krawędzie chodników, co ilustrują rysunki 3 i 4.



Rys. 3.



Rys. 4.

Generalnie przyjęto tu metodę, która polegała na tym, że operator porównywał tylko położenie narożników budynków, oraz elementów poprawnych obrysu z ich obrazem stereoskopowym. W przypadku zgodności położenia tychże elementów na istniejącej mapie z ich obrazem stereoskopowym budynek kwalifikowano jako bezbłędny. W przypadku braku jednoznacznej możliwości weryfikacji elementu operator kreślił obrys obiektu od nowa, po czym dopiero następowała kontrola. Obserwacja stereoskopowa tego typu elementów sprawiała operatorom dużo trudności, proporcjonalnie do wysokości obiektu oraz stopnia urozmaicenia bryły. Mimo to, przy pewnej wprawie obserwacja była możliwa.

W referacie wygłoszonym w Mierkach Prof. Gajderowicz poruszył jeszcze jeden problem dotyczący budynków. Polegał on na braku możliwości połączenia w systemie SpaceWare dwóch punktów o takich samych współrzędnych poziomych, lecz różnych wysokościach. W zasadzie problem ten nie dotyczy środowiska graficznego MicroStation w którym była prowadzona aktualizacja mapy, tam nie ma takich ograniczeń.

Kolejnym ważnym zagadnieniem, które należało rozwiązać był problem kreślenia łuków. Kreślenie łuków jako elementów liniowych składających się z krótkich odcinków nie wchodziło w rachubę, gdyż zleceniodawca wyraźnie określił iż wszystkie elementy o charakterze łuków miały być kreślone typem graficznym „arc”. Ponadto łuki miały łączyć się ze sobą w sposób płynny. Sytuację tę rozwiązano poprzez opracowanie aplikacji w której łączone elementy miały wspólną styczną. Zapewniało to płynność przejścia pomiędzy łukami. Aplikacja ta pozwalała również na kreślenie łuków przestrzennych, których początek i koniec znajdowały się na różnych wysokościach.

Z łukami wiąże się jeszcze jedno zagadnienie, a w szczególności różna interpretacja parametrów cyfrowych, które opisują element typu „łuk” przez środowisko MicroStation oraz SpaceWare. Okazało się bowiem, że po zaimportowaniu tych elementów, system SpaceWare wykazywał błędy połączeń elementów łukowych z elementami liniowymi. Zachodziło podejrzenie, że krańce łuków nie są zaczepione w tym samych punktach co przylegające linie. Po wszelkich analizach okazało się, że błąd tkwił w precyzji z jaką system SpaceWare interpretował dane importowane poprzez format DXF. Precyzja interpretacji była większa od minimalnej rozdzielczości pliku graficznego w środowisku MicroStation, która w jednostkach terenowych wynosiła 1 mm.

## Podsumowanie

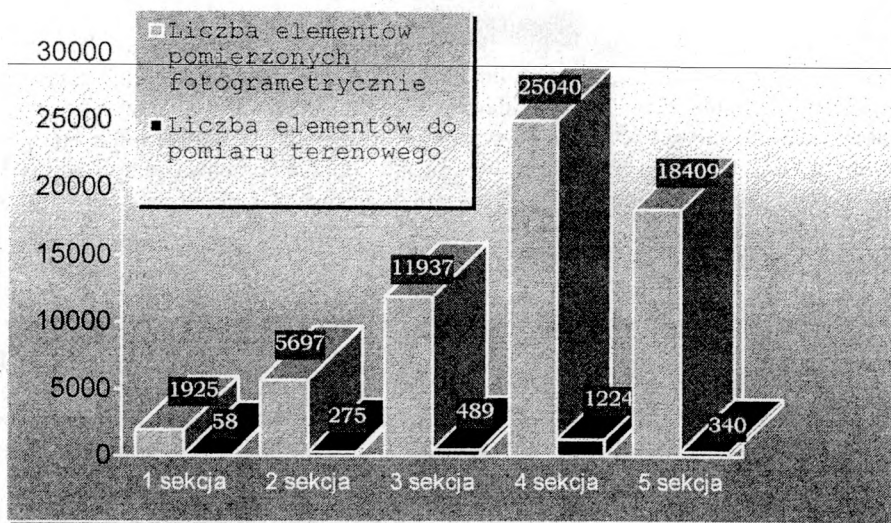
Mapa w skali 1:1250 terenu o powierzchni 94 km<sup>2</sup> została zaktualizowana metodą fotogrametryczną w przeciągu 6 miesięcy. W pracach fotogrametrycznych na stałe uczestniczyło 6 osób. Z przedstawionych powyżej danych wynika, że efektywność opracowania fotogrametrycznego oscylowała wokół 95%, co oznacza, że tylko 5% elementów nie została pomierzona fotogrametrycznie i wymagała pomiaru terenowego, co ilustruje wykres 3 (rys. 5.).

Statystyka mogłaby być jeszcze korzystniejsza gdyby nie wpływ czasu, który przy ogromnej dynamice zmian zachodzących w stolicy Zjednoczonych Emiratów Arabskich, miał szczególne znaczenie. Duży wpływ miała także słaba jakość zdjęć stanowiąca wypadkową warunków oświetleniowych w trakcie ekspozycji oraz obróbki fotochemicznej i skanowania.

Czy jednak można tę statystykę przełożyć w polskie realia doprowadzając do szerszego wykorzystania zdjęć w celach aktualizacji wielkoskalowych podkładów mapowych?

Z pewnością nie, jeżeli zdjęcia będą wykonywane w okresie najbujniejszej wegetacji, a od ich wykonania do pełnego wykorzystania będą mijały lata. Opracowania fotogrametryczne nie mają wówczas szans aby stanowić konkurencyjne wysokoefektywne metody w zestawieniu z rozwiązaniami klasycznymi.

Wykres 3 Zestawienie skali prac terenowych w stosunku do opracowania kameralnego



Rys. 5.

Recenzował: dr inż. Andrzej Wróbel