
Technologia opracowania NMT i map cyfrowych metodami fotogrametrycznymi
dla celów prognozowania powodzi

Aby przewidzieć wielką wodę

ROMUALD KACZYŃSKI

Współczesne metody przewidywania skutków powodzi bazują głównie na aktualnych numerycznych modelach rzeźby terenu (NMT), mapach topograficznych w postaci numerycznej oraz ortofotomapach cyfrowych. W bieżącym roku rozpocznie się realizacja wielkiego projektu finansowanego z pożyczki Banku Światowego obejmującego takie opracowania w skali 1:10 000 dla głównych rzek w Polsce. Natomiast już od początku 1999 roku Instytut Geodezji i Kartografii (IGiK) i Państwowe Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Kartograficzne (PPGK) realizują, na zlecenie Okręgowej Dyrekcji Gospodarki Wodnej (ODGW) w Warszawie, projekt dotyczący opracowania danych kartograficznych dla 400-kilometrowego odcinka Wisły.



Takich aktualnych danych, które są niezbędne do systemu prognozowania zasięgu fali powodziowej, nie ma jeszcze dla żadnej rzeki w Polsce. Istniejące mapy topograficzne w skali 1:10 000 są na ogół nieaktualne, a rzeźba terenu nigdy nie była aktualizowana. Nie mogą być więc one wykorzystane w całości do prognozowania zasięgu powodzi. Stąd też ODGW w Warszawie ogłosiła przetarg na aktualne opracowania kartograficzne 400-kilometrowego odcinka Wisły na podstawie zdjęć lotniczych wykonanych przy małym stanie lustra wody oraz niewielkim pokryciu roślinnością. Barwne zdjęcia lotnicze w skali 1:26 000 zrobione w ramach programu PHARE nie mogły być użyte do tego celu z uwagi na naloty w różnych okresach (maj-wrzesień) oraz brak sygnalizowanych fotopunktów. Stąd zdecydowano się na wykonanie nowoczesnymi kamerami czarno-białych zdjęć lotniczych w okresie spełniającym ww. warunki. Prace fotogrametryczne, fotointerpretacyjne i kartograficzne zrealizowano w Instytucie Geodezji i Kartografii oraz w Państwowym Przedsiębiorstwie Geodezyjno-Kartograficznym.

Wykonanie zdjęć lotniczych

Zdjęcia lotnicze wykonane zostały przez POLKART i firmę niemiecką BSF w dwóch skalach: 1:17 000 i 1:25 000. Pierwsze – 18 maja ubiegłego roku, kiedy poziom lustra wody był mały i widoczne były elementy hydrologiczne, a wegetacja dopiero się rozpoczynała (skala 1:17 000). Drugi nalot wykonano 5 września 1999 roku (skala 1:25 000). W obu przypadkach użyto kamery Zeiss LC ze stożkiem o odległości obrazowej 152,23 mm. Fotopunkty sygnalizowane były krzyżem o szerokości 0,35 m i długości ramion 1,5 m. Współrzędne fotopunktów pomierzono techniką GPS i przeliczono do układu współrzędnych prostokątnych „1942”. Błąd średni wyznaczenia fotopunktów był rzędu $m_x = m_y = m_z = +/- 5 \text{ cm}$.



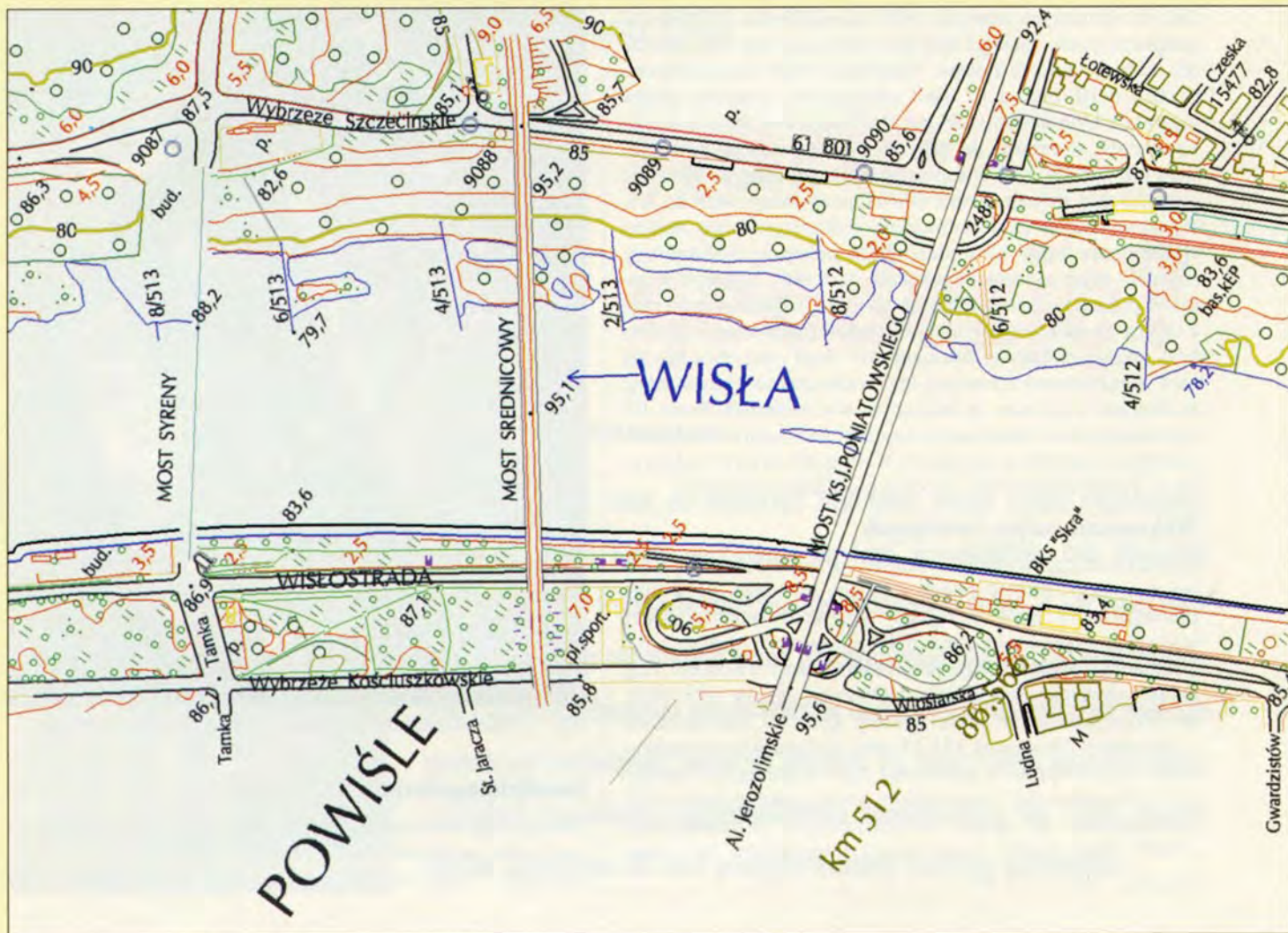
Rys. 1. Wycinek ortofotomapy rejonu Wisły w centrum Warszawy

Aerotriangulacja

Pomiar punktów na zdjęciach w skali 1:17 000 wykonano na autografie analitycznym P-1 Zeiss w Zakładzie Fotogrametrii IGiK. Punkty łączne sygnalizowano na fotonakłuwaczu



Widok Warszawy z brzegu praskiego. Zdjęcie wykonane przez autora w 1972 roku adaptowaną do zdjęć naziemnych amerykańską kamerą lotniczą Fairchild



laserowym TRANSMARK firmy Zeiss. Wyrównanie aeriatriangulacji wykonywano odcinkami w celu jak najszybszego wykorzystania wyników do dalszych opracowań numerycznych. Do wyrównania użyto oprogramowania PATMR-GPS firmy Inpho.

Wszystkie opracowywane zdjęcia w tej skali (464 modele, 26 odcinków o różnych kierunkach lotu samolotu) wyrównano jednocześnie programem Inpho PATM-GPS.

Otrzymano błąd średni $m_0 = 8 \mu\text{m}$. Dokładność wyrównania bloku (184 fotopunkty ze znanymi współrzędnymi X, Y oraz 197 ze znaną współrzędną Z) na sygnalizowanych fotopunktach: $M_x = M_y = \pm 7 \text{ cm}$ i $M_z = \pm 4 \text{ cm}$, a punktów wiązających $m_x = m_y = \pm 9 \text{ cm}$, $m_z = \pm 13 \text{ cm}$.

Wyniki tej aeriatriangulacji PPGK wykorzystano do pomiaru NMT na autografie analitycznym P-1 oraz do opracowania mapy numerycznej w skali 1:10 000.

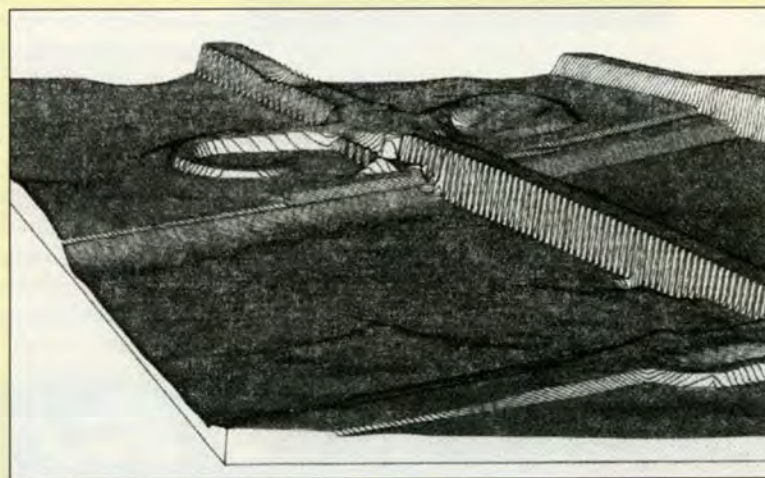
Zdjęcia w skali 1:25 000 zeskanowano aperturą 22,5 mm na skanerze PS-1 Zeiss/Intergraph w Zakładzie Fotogrametrii IGiK. Skaner ten ma dokładność geometryczną $\pm 1-2 \mu\text{m}$, a radiometryczną 8 bitów dla zdjęć czarno-białych i 24 bity

dla barwnych. Przy skanowaniu wykonano *fotoalignment* zdjęć na znaczkach tłowych, a pliki skompresowano kilkakrotnie metodą JPEG z parametrem Q = 15.

Aeriatriangulację cyfrową metodą półautomatyczną wykonano w IGiK na ImageStation 6487 Intergraph. Osiągnięto dokładność korelacji punktów poniżej 0,2 piksela. Błąd średni po wyrównaniu wynosi $m_0 = 8 \mu\text{m}$. Błąd średni wyrównanych współrzędnych $M_{x,y} = \pm 30 \text{ cm}$, $M_z = \pm 19 \text{ cm}$. Dokła-

Rys. 2. Wycinek mapy topograficznej rejonu Wisły w centrum Warszawy (powyżej)

Rys. 3. Widok perspektywiczny NMT tego samego rejonu opracowania oprogramowaniem HI-FI



dnosc tego wyrównania jest mniejsza, gdyż w czasie wykonywania zdjęć we wrześniu wiele sygnalizowanych fotopunktów już nie istniało. Dlatego też jako osnowę geodezyjną wykorzystano szczegóły sytuacyjne, których współrzędne wyznaczono w wyniku wyrównania bloku zdjęć w skali 1:17 000, a które zidentyfikowane były następnie na zdjęciach w skali 1:26 000. Wyniki tej aerotriangulacji były wykorzystane do generowania ortofotomap cyfrowych z pikselem 1m x 1 m.

Pomiar NMT

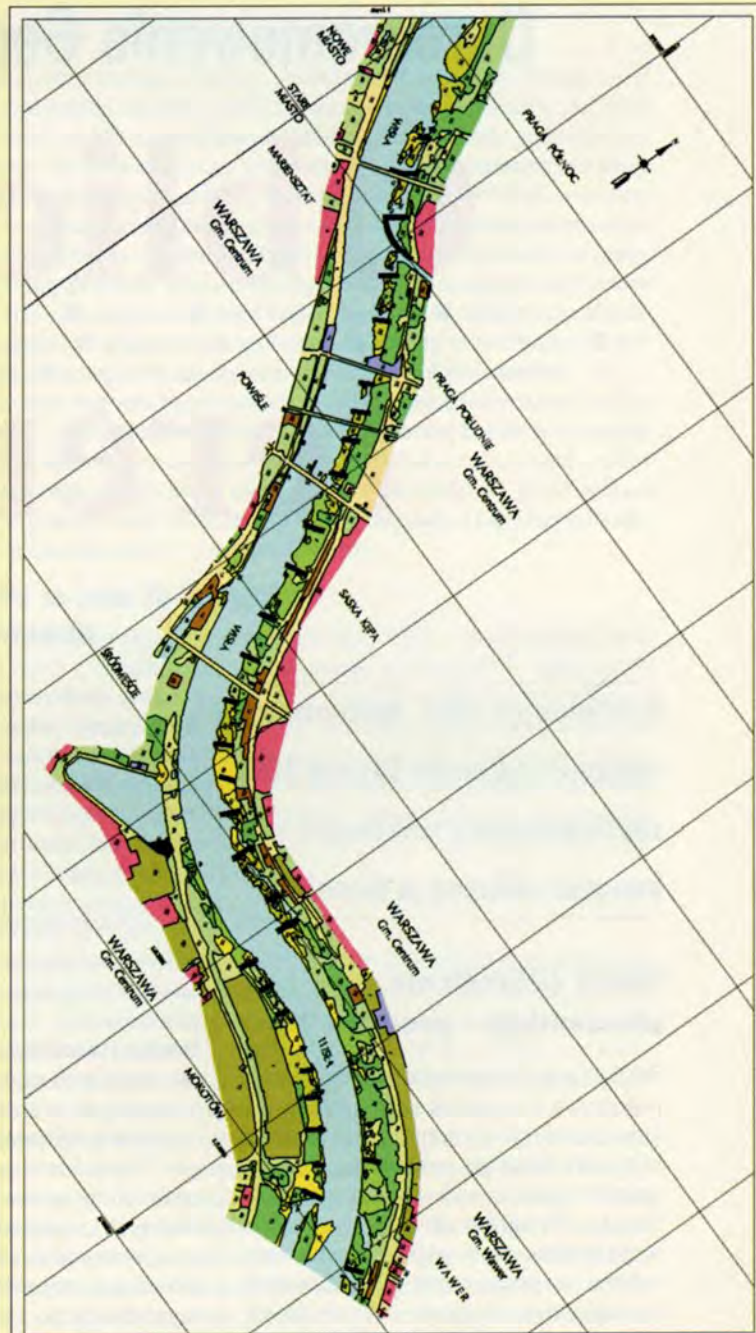
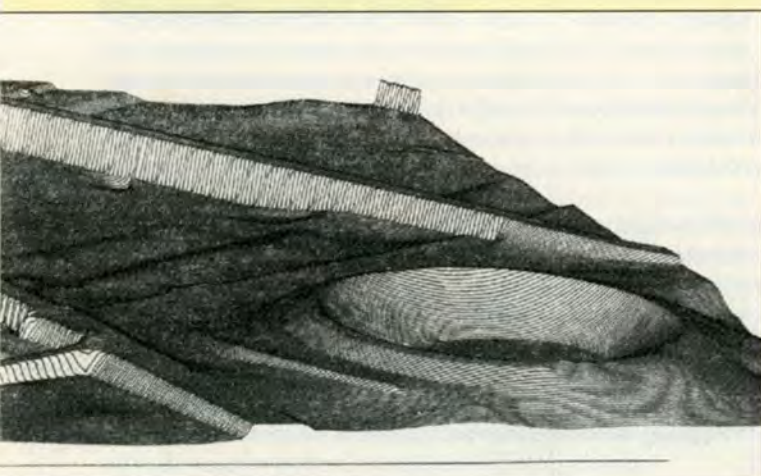
Z uwagi na trudny teren i częściowe jego pokrycie roślinnością nie można było generować NMT automatycznie metodą korelacji obrazów. Pomiar NMT przeprowadzono na autografie analitycznym Planicomp P-1 Zeiss na zdjęciach lotniczych w skali 1:17 000. Wszystkie skarpy o wysokości powyżej 0,5 m, linie szkieletowe i nieciągłości rzeźby terenu oraz obszary wyłączeń zaznaczano w bazie danych pomiarowych. Pomiar NMT wykonano w oczku 25 m x 25 m, rejestrując go w formacie ASCII. Dokładność pomiaru NMT wynosi około 0,5 m. Z NMT wygenerowano warstwicę z cięciem 1 m; pracę tę wykonało PPGK.

Ortofotomapy cyfrowe

Ortofotomapy cyfrowe z pikselem 1 m x 1 m wygenerowano w IGiK ze zdjęć lotniczych w skali 1:26 000, wykorzystując elementy orientacji zdjęć otrzymane z aerotriangulacji cyfrowej oraz NMT opracowany na autografie analitycznym. Do generowania ortofotografii cyfrowych na ImageStation 6487 użyto pełnego zestawu zdjęć. Mozaikowanie ortofotografii z wyrównaniem kontrastu wykonano na Image Z Intergraph. Z mozaik wycięto arkusze w skali 1:10 000 w układzie „1942”. Dokładność ortofotomap jest poniżej 2 pikseli, co odpowiada $M_{x,y} = +/-2$ m w terenie. Ortofotomapy cyfrowe zarejestrowano na nośnikach CD-ROM w formacie TIFF. Wyploty ortofotomap w skali 1:10 000 otrzymano na precyzyjnym, rastrowym ploterze atramentowym IRIS 3048.

Numeryczne mapy topograficzne

Numeryczne mapy topograficzne opracowano w PPGK na podstawie zdjęć lotniczych w skali 1:17 000, zgodnie z biblioteką znaków dla skali 1:10 000. Do opracowanych map dodane zostały warstwicę z cięciem 1 m. Mapy topograficzne zarejestrowano na nośnikach CD-ROM i wyplotowano na ploterze wektorowym HP.



INSTYTUT GEODEZJI I KARTOGRAFII WARSZAWA	MAPA UŻYTKOWNIA ZIEMI I POKRYCIA TERENU skala 1:10 000	sej. numeracja 9 01, Wa 0200	tytuł: 10.01.00 100
Opisany: 4.000000 0.000000 4.000000 0.000000	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100	Wzrost: 0,0000 0,0000 0,0000 0,0000 0,0000 0,0000	opisany: 10.0000 10.0000

Rys. 4. Wycinek mapy użytkowania i pokrycia ziemi tego samego rejonu

Mapa użytkowania ziemi i pokrycia terenu

Mapę użytkowania i pokrycia terenu opracowano w Instytucie Geodezji i Kartografii w skali 1:10 000 w środowisku MicroStation firmy Bentley, na podstawie interpretacji zdjęć lotniczych. Mapa zawiera 19 elementów użytkowania ziemi i pokrycia terenu.

Autor, profesor Instytutu Geodezji i Kartografii, jest kierownikiem Zakładu Fotogrametrii, specjalistą w dziedzinie fotogrametrii cyfrowej