

ORTOFOTO ZNISZCZONEJ WARSZAWY

Rok 1944. Warszawa. Powstanie. A potem unicestwienie miasta, dom po domu, ulica po ulicy, pedantycznie. Historia tamtych dni zachowała się w licznych, rozproszonych dokumentach, a przede wszystkim w ulotnej pamięci ludzkiej. Czy to wyobrażenie można dzisiaj po ponad 60 latach zobiektywizować? Udokumentować? Ożywić? Można. Co więcej, zostało to zrobione. Zdjęcia lotnicze wykonane tuż po wojnie, latem 1945 roku, oraz najnowsze cyfrowe technologie fotogrametryczne pozwoliły sporządzić ortofotomapę zniszczonej Warszawy. Powstał dokument obiektywny, ale wzbudzający emocje. Przemówił unikalny, porażający obraz. Słowa i komentarze są zbudne.

PIOTR FALKOWSKI
ZDZISŁAW KURCZYŃSKI
JACEK UCHAŃSKI

W kwietniu 2004 r. Rada Warszawy na wniosek ówczesnego prezydenta m.st. Lecha Kaczyńskiego przyjęła uchwałę o podjęciu prac nad określeniem strat miasta i mieszkańców podczas II wojny światowej. Ukonstytuował się zespół ds. ustalenia wartości strat, jakie poniosła Warszawa. W prace włączyło się wielu entuzjastów.

W listopadzie 2004 r. zespół przedstawił wynik swojej pracy w „Raporcie o stratach wojennych Warszawy”. Opierano się na różnych materiałach i dokumentach. Zwrócono uwagę na możliwości wykorzystania zachowanych zdjęć lotniczych wykonanych przez lotników radzieckich latem 1945 r. Ze względu na trudności z pozyskaniem materiałów źródłowych oraz problemy proceduralne zdjęcia te nie zostały użyte na etapie prac nad raportem. Doceniając jednak przydatność fotogramów, zastępca dyrektora Zespołu Doradców Prezydenta Maria Sosnowska

oraz geodeta m.st. Warszawy Tomasz Myśliński podjęli inicjatywę opracowania na ich podstawie ortofotomapy. Przygotowano warunki techniczne i w procedurze zamówień publicznych zlecono wykonanie zadania Warszawskiemu Przedsiębiorstwu Geodezyjnemu S.A.

• ZDJĘCIA

Latem 1945 r. (prawdopodobnie w czerwcu) lotnicy radzieccy wykonali zdjęcia lotnicze dla całej Warszawy w jej przedwojennych granicach. Zachowały się one w archiwach wojskowych i dla realizacji zadania zostały zeskanowane i nieodpłatnie udostępnione przez Zarząd Geografii Wojskowej. 650 dostępnych fotogramów zeskanowano z pikselem 21 μ m. Wstępny przegląd materiału pozwolił ocenić, że jakość fotograficzna zdjęć jest – zważywszy na okoliczności – dość dobra. Zostały one wykonane czterema kamerami AFA-3CN (ZSRR) w skali około 1:5400 (są to więc zdjęcia wielkoskalowe). Format kamery 23 x 18 cm odpowiada terenowemu zasięgowi zdjęcia 1,24 x 0,97 km.

Pewnym problemem był wstępny montaż takiej liczby zdjęć. Brak informacji o nalocie i sposobie ich numeracji oraz

bardzo duża skala, a więc stosunkowo mały zasięg terenowy, utrudniały identyfikację tego zasięgu. Pomocna okazała się współczesna ortofotomapa. W części centralnej miasta na niektórych pojedynczych zdjęciach udało się rozpoznać charakterystyczne obiekty i układ ulic. Idąc dalej według numeracji zdjęć oraz wykorzystując ich wzajemne pokrycia, udało się zlokalizować kolejne szeregi.

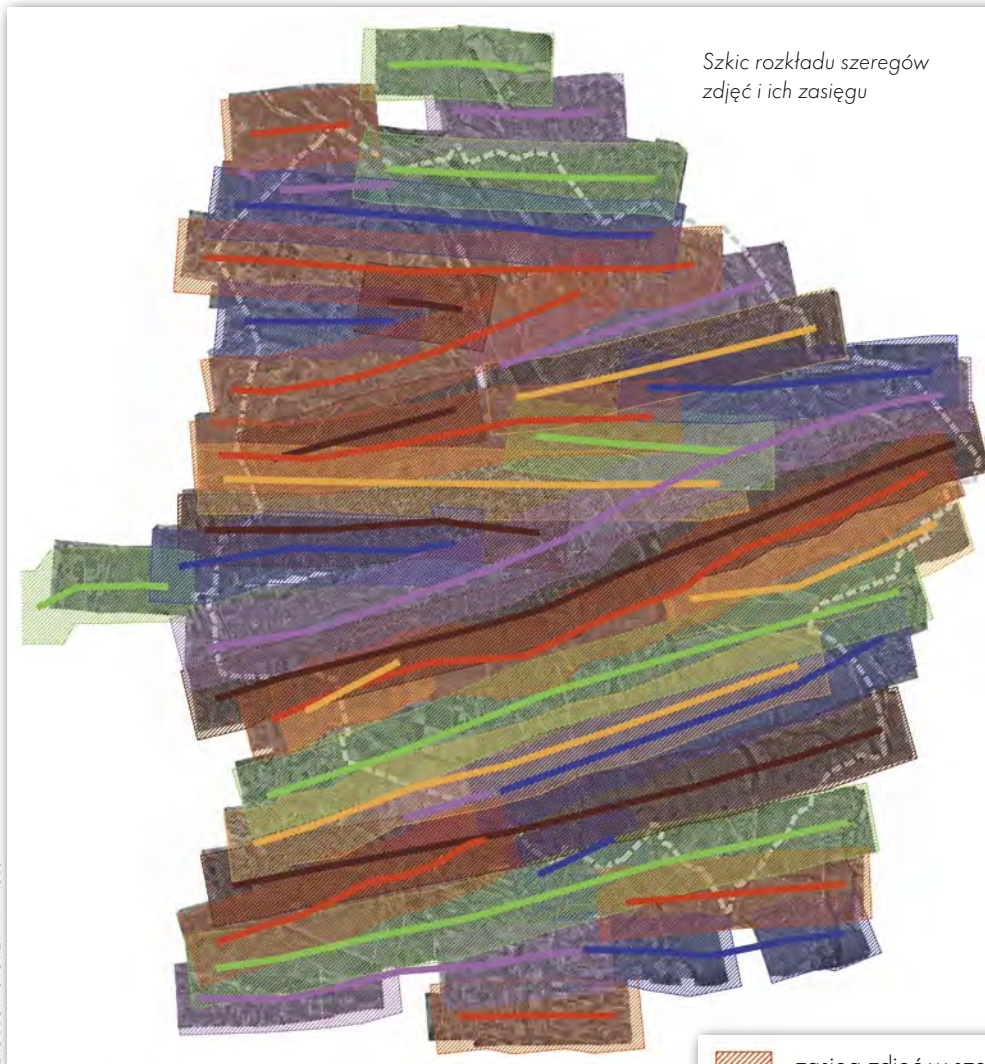
Po takim zmontowaniu ukazał się układ dostępnych zdjęć (patrz rysunek na s. 16). Loty były realizowane w kierunku wschód-zachód, kamerami zorientowanymi krótszym bokiem w kierunku lotu. Część szeregów była nalatywana równoległe do osi Alej Jerozolimskich. Obok szeregów długich występują również bardzo krótkie. To prawdopodobnie efekt stwierdzonych błędów nawigacyjnych, powodujących „rozchodzenie” się sąsiadujących szeregów i brak w nich wzajemnego pokrycia, co wymusiło dodatkowe loty. W wyniku tego zespół zdjęć okazał się – w dzisiejszych kategoriach – bardzo złożony. W sumie mamy aż 35 szeregów. Pokrycia podłużne zdjęć wahają się w granicach 48-75%. W wyniku wspomnianych problemów pokrycie między szeregami jest bardzo zróżnicowane: od 0% (brak pokrycia) do 100% (pełne pokrycie poprzeczne na fragmentach szeregów).

Jak wiemy, wykorzystano kamery fointerpretacyjne AFA-3CN o nieznanym elementach orientacji. Na szklanej płycie każdej z nich w płaszczyźnie tłowej był wytrawiony punkt główny zdjęcia oraz 4 kreski na bokach, które potraktowano jako znaczniki tłowe. Kamera tego typu miała (prawdopodobnie)



ZRÓDŁO: MIASTO STOLECZNE WARSZAWA

Ortofotomapa dla rejonu Starego Miasta. Na zdjęciu wyraźnie widać stopień zniszczeń



Szkic rozkładu szeregów zdjęć i ich zasięgu

powodowanych przez deformacje podłoża filmu i migawkę.

● OSNOWA FOTOGRAMETRYCZNA

Pozyskanie dobrej polowej osnowy fotogrametrycznej stanowiło nie lada wyzwanie. Z jednej strony duża skala zdjęć i opracowania wymagały wysokiej dokładności (według warunków technicznych średni błąd położenia poniżej 1 m), a z drugiej – mogły to być tylko fotopunkty naturalne, identyfikowane na zdjęciach i dostępnych materiałach kartograficznych. Pozyskanie takich punktów nastęrczało trudności szczególnie w partiach brzegowych bloku (teren odkryty, o niskim stopniu zagospodarowania, ubogi w zachowane szczegóły), tj. tam, gdzie są one najbardziej potrzebne. Dodatkowo nieregularne pokrycia zdjęć, a nawet braki pokrycia oraz deformacje geometryczne wymuszały gęstość punktów osnowy większą niż standardowo.

Osnowa fotogrametryczna została zaprojektowana tak, aby zapewnić prawidłowe wyrównanie bloku z jednoczesną kalibracją kamer. Fotopunkty zaprojektowano na początku i końcu

każdego szeregu oraz w środku, co 2 do 10 baz w zależności od ułożenia zdjęć i możliwości znalezienia punktów naturalnych. W wielu przypadkach konieczne było zaprojektowanie dodatkowych punktów na obszarach, gdzie występowało małe pokrycie. Łącznie przyjęto 230 podwójnych fotopunktów i 36 z-punktów oraz dodatkowo 54 punkty kontrolne. Wszystkie fotopunkty zostały zaprojektowane jako punkty podwójne, tzn. wyznaczano obok siebie po dwa punkty, gdyż taki zabieg pozwala znacznie zmniejszyć błędy identyfikacji.

Wybierano obiekty naturalne – przede wszystkim narożniki budynków. Na obszarach, gdzie takich punktów nie można było wyznaczyć, wybierano skrzyżowania dróg lub możliwe do identyfikacji granice działek (ogrodzenia, miedze).




migawkę żaluzjową (a nie – jak w kamerach pomiarowych – centralną), co kazało zakładać znaczne, lecz nieznanne deformacje obrazu.

Problem braku metryk nie jest aż tak istotny, ponieważ przy ogniskowej około 490 mm (dane takie podaje dla AFA-3CN literatura) dokładność elementów orientacji wewnętrznej kamery, w tym jej odległość obrazowa, nie są krytyczne i dla opracowania można przyjąć ich przybliżone wartości.

Oddzielnym problemem były znaczne deformacje filmu spowodowane wpływem czasu i warunkami przechowywania. Ze względu na brak jakichkolwiek danych wyjściowych współrzędne znaczków tłowych określono poprzez obliczenie ich średniego położenia wyznaczonego dla każdej kamery na podstawie pomiaru współrzędnych znaczków na 14 zdjęciach. Różnice pomiędzy tak określonymi średnimi wartościami a współrzędnymi dla poszczególnych zdjęć kształtowały się

w zakresie od 0 do 105 mikrometrów. Wskazuje to wartość różnic deformacji poszczególnych zdjęć. Zabieg powyższy pozwolił sprowadzić wszystkie zdjęcia do porównywalnych wymiarów (tj. usunąć różnice deformacji). Nie likwiduje to jednak samych deformacji, które na tym etapie pozostają nieznanne.

Podjęto próbę kalibracji kamer w procesie aerotriangulacji. Wykonano szereg wyrównań mniejszych bloków złożonych z jednego lub kilku szeregów wykonanych jedną kamerą i dobrze uzbrojonych w fotopunkty. Uzyskane poprawki do przyjętych parametrów nominalnych okazały się mniejsze od błędów ich wyznaczenia. Zauważono natomiast istotny wpływ na wyniki wyrównania pierwszego parametru Ebnera opisującego deformacje afiniczne zdjęć. To potwierdza przewidywane występowanie deformacji o takim charakterze,

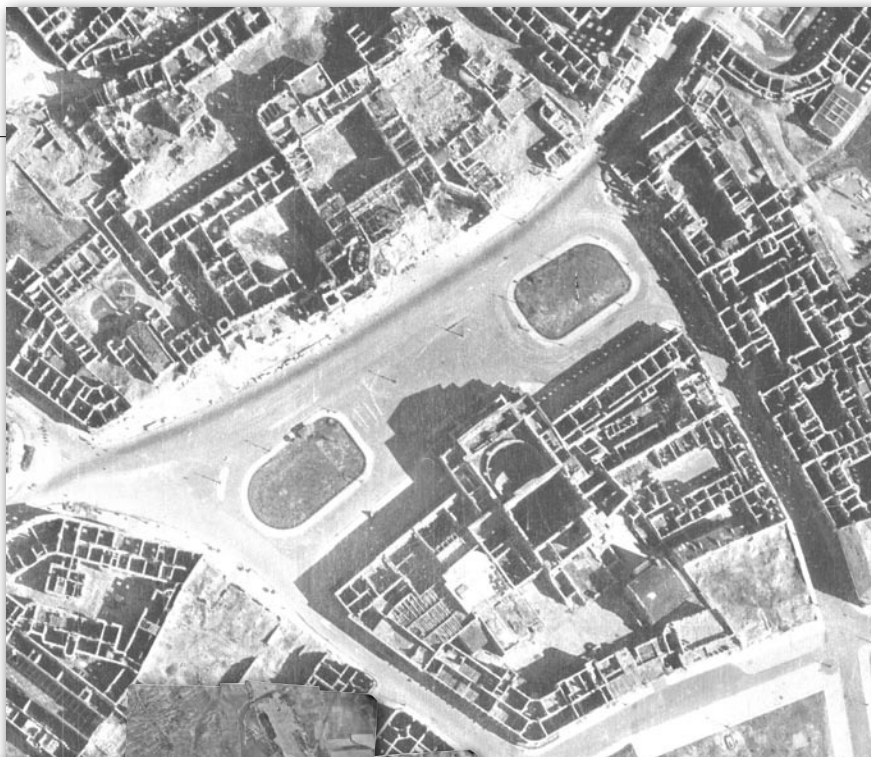
-  zasięg zdjęć w szeregu
-  przebieg osi szeregu
-  granica miasta z 1939 r.

Współrzędne fotopunktów pozyskano z *Mapy Zniszczeń Warszawy* w skali 1:2500, opracowanej około 1948 roku przez Biuro Odbudowy Stolicy. Jest to jedyna zachowana mapa wielkoskalowa pokrywająca cały obszar opracowania. Pozostałe mapy, w tym przede wszystkim *Plan Sytuacyjny Warszawy* w skali 1:1000 oraz wydanie hipoteczne mapy w skali 1:2500, nie zachowały się w całości i obejmują tylko część obszaru. Mapy zostały zeskanowane i skalibrowane na bazie punktów siatki kilometrowej z zastosowaniem transformacji metodą elementów skończonych. Wysokości zostały wyznaczone poprzez interpolację warstwic.

Część fotopunktów zweryfikowano na podstawie materiałów dostępnych w Warszawskim Przedsiębiorstwie Geodezyjnym S.A. Porównano współrzędne 31 punktów pomierzonych na mapie w skali 1:2500 ze współrzędnymi z pomiarów bezpośrednich. Błąd średni położenia wyniósł 0,59 m, a maksymalna różnica współrzędnych – 1,31 m. Nie stwierdzono występowania błędów systematycznych. Te wyniki wskazują na zadowalającą dokładność fotopunktów.

● OPRACOWANIE ORTOFOTOMAPY

Aerotriangulację wykonano w środowisku Intergraph (moduł ISDM i Photo-T). Punkty wiążące mierzono półautomatycznie, średnio około 39 punktów na zdjęciu. Wyrównanie metodą niezależnych wiązek z wykorzystaniem wszystkich zdjęć przeprowadzono w programie Photo-T. Zastosowano wyrównanie z tzw. parametrami dodatkowymi (inaczej: samokalibracja), uzmienniając dla zdjęć wykonanych daną kamerą po jednym parametrze Ebnera. Oznacza to uzmiennienie w procesie wyrównawczym parametru opisującego nieznaną różnicę skal zdjęć w kierunku podłużnym i poprzecznym. Taki właśnie cha-



Ortofotomapa rejonu placu Teatralnego z widocznymi ruinami Teatru Wielkiego i pałacu Jabłonowskich

Ortofotomapa całego obszaru opracowania



ŹRÓDŁO: MIASTO STIECZNE WARSZAWA



Widok trójwymiarowego modelu ruin. Rejon placu Zbawiciela

rakter deformacji był spodziewany z powodu działania migawki kamery oraz deformacji podłoża filmu. Wyniki wyrównania potwierdziły takie przypuszczenia: wyrównanie z parametrami dodatkowymi dało wyraźnie lepsze wyniki niż bez tego parametru. Zabieg ten znacznie złagodził brak metryk kamer. Próba zwiększenia liczby parametrów dodatkowych, opisujących inne, drugorzędne błędy, byłaby ryzykowna, zwiększałaby bowiem niestabilność numeryczną całego procesu.

Główne wskaźniki wyrównania:

- średni błąd budowy bloku (Sigma): 17,7 μm ,
- średni błąd wpasowania bloku w osnowę fotogrametryczną: sytuacyjny 1,40 m i wysokościowy 0,52 m,
- średni błąd na punktach kontrolnych: sytuacyjny 1,39 m i wysokościowy 0,61 m,
- maksymalna odchyłka terenowa na pojedynczym fotopunkcie: 3,65 m dla X, 3,65 m dla Y i 1,55 m dla Z,
- w wyniku analizy elementów orientacji zewnętrznej polegającej na obliczeniu współrzędnych punktów wiążących i porównaniu ich ze współrzędnymi z wyrównania aerotriangulacji uzyskano następujące parametry: średnia paralaksa na modelu wynosi 12,1 μm , średnia dokładność wyznaczenia współrzędnych terenowych to 1,44 m w płaszczyźnie XY i 1,32 m dla składowej Z.

Parametry charakteryzujące dokładność wyrównania znacznie przekraczają wartości dopuszczalne stosowane przy wyrównaniu współczesnych zdjęć pomiarowych. Należy mieć jednak na uwadze, że kryteriów takich nie można odnosić do zdjęć archiwalnych. Wyniki aerotriangulacji potwierdzają możliwość wytworzenia ortofotomapy z błędem średnim poniżej 1,5 m. Należy podkreślić, że dokładność względna opracowania, tj. obiektów położonych blisko siebie, jest znacznie wyższa, porównywalna z rozdzielczością ortofotomapy.

Do ortorektyfikacji zdjęć wykorzystano numeryczny model terenu (NMT) pomierzony na opracowywanych zdjęciach. Proces wyrównania tonalnego przeprowadzono automatycznie w programie AS Auto Dodge. Dodatkowo zastosowano indywidualne wyrównanie tonalne dla poszczególnych szeregów w programie I/RAS C.

Podstawową wersję ortofotomapy wykonano niezależnie w dwóch układach współrzędnych: PUWG 2000 strefa 7-21 i Warszawa-25. Piksel ortofotomapy wyniósł 0,15 m. Finalne zbiory ortofotomap mają postać cyfrową, archiwizowano je w modułach odpowiadających sekcjom 1:2000. Powstała także dodatkowa wersja ortofotomapy w układzie PUWG 2000 z pikselem 0,40 m, wypłotowana w podziale sekcyjnym i skali 1:5000. Dało to sumarycznie 32 sekcje. Na bazie tej

wersji przygotowano w kilku egzemplarzach ortofotomapę obejmującą cały obszar opracowania, wraz z opisem pozaramkowym i ważniejszymi obiektami. Wydrukowano ją w skali 1:10 000 w formie plakatu na sztywnym podłożu o wymiarach 1,5 x 2,0 m. W brzegowych partiach tego opracowania wprowadzono wybrane fragmenty w większej skali.

● ORTOFOTO TO JESZCZE NIE WSZYSTKO!

Unikalne zdjęcia archiwalne oraz wykonana na nich aerotriangulacja dają możliwość dalszego ich wykorzystania, idącego np. w kierunku budowy przestrzennego modelu zniszczonej Warszawy, przydatnego do odtworzenia kształtu ruin budynków i oceny kubatury zniszczonych obiektów. WPG S.A. w ramach promocji wykonało pilotażowe opracowanie trójwymiarowego modelu ruin budynków obejmujące jeden stereogram. Badania modelu wykazały możliwość odtworzenia pojedynczych ścian i elementów budynków większych niż 1 m z dokładnością względną położenia obiektów w przestrzeni rzędu 0,6-0,8 m. Jednak największy sukces – zdaniem autorów ortofotomapy – stanowi fakt, że tak niepowtarzalny materiał ujrzał światło dzienne i jest dostępny dla wszystkich. Stało się to dzięki zaangażowaniu wielu entuzjastów. Powstało opracowanie, którego wartość historyczną, naukową czy nawet emocjonalną trudno przecenić.

Ortofotomapę można zobaczyć na stronie internetowej Urzędu Miasta. Możliwe jest jej porównanie z kolorową ortofotomapą wykonaną ze zdjęć z maja 2005 roku. Urząd Miasta zgłosił opracowanie do Nagrody Ministra Budownictwa za wybitne osiągnięcia twórcze w dziedzinie architektury, budownictwa, planowania przestrzennego, urbanistyki oraz geodezji i kartografii w 2006 roku. „Opracowanie ortofotomapy zniszczonej Warszawy na podstawie zdjęć lotniczych z 1945 roku” uzyskało nagrodę I stopnia.

PIOTR FALKOWSKI i JACEK UCHAŃSKI
są pracownikami WPG SA,
DR HAB. ZDZISŁAW KURCZYŃSKI,
pracownik Politechniki Warszawskiej,
był konsultantem projektu