

KOMPLEKSOWA OCENA DOKŁADNOŚCI WIELKOSKALOWYCH OPRACOWAŃ CYFROWYCH MIASTA ZIELONA GÓRA

THE COMPLEX ESTIMATION OF THE ACCURACY OF LARGE-SCALE DIGITAL MAPS OF THE CITY OF ZIELONA GÓRA

Władysław Dąbrowski, Adam Doskocz

Katedra Geodezji Szczegółowej, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Słowa kluczowe: osnowa geodezyjna, sieć odtwarzalna, pomiar kontrolny, wielkoskalowa mapa cyfrowa, ocena dokładności

Keywords: geodetic control network, restorable network, control survey, large-scale digital map, accuracy estimation

Wprowadzenie

Zachodzące zmiany społeczno-gospodarcze oraz ugruntowujące się w Polsce mechanizmy gospodarki rynkowej powodują, że decydenci od szczebla państwowego do władz samorządowych pragną racjonalnie zarządzać podległą im przestrzenią. Nie ulega jednak kwestii, iż współczesne zarządzanie infrastrukturą przestrzenną Polski, zarówno w zakresie całości terytorium jak i poszczególnych jej części, sprawnie może być realizowane jedynie z wykorzystaniem systemów informacyjnych geograficznej (GIS). Władze miast będących liderami w tym zakresie w swej codziennej pracy korzystają z najnowszych rozwiązań geoinformatycznych. Przykładem godnym naśladowania jest Urząd Miasta Zielona Góra, który w ramach systemu GIS wykorzystuje również ortofotomapę cyfrową (Józwiak, Grobelny, 2006).

Współczesne opracowania wielkoskalowych map cyfrowych wykonywane są wieloma technologiami o specyficznych cechach i różnej jakości produktu finalnego. Dlatego też, zarówno autorzy opracowań cyfrowych, jak i krąg ich użytkowników powinni wiedzieć jakiej dokładności opracowaniami dysponują, a w związku z tym do realizacji jakich zadań mogą być one zastosowane.

Celem niniejszej publikacji jest przedstawienie prac wykonanych na przestrzeni ostatnich siedmiu lat przez Wydział Geodezji i Gospodarowania Mieniem Urzędu Miasta Zielona Góra we współpracy z pracownikami naukowymi Wydziału Geodezji i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, w zakresie modernizacji i utrzymania

odpowiedniej jakości państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego na terenie miasta Zielona Góra oraz zaprezentowanie rezultatów tych prac.

Modernizacja szczegółowej, poziomej osnowy geodezyjnej III klasy

W latach 1998-1999 na terenie miasta Zielona Góra zrealizowano szczegółową osnowę odtwarzalną III klasy. Osnowę nawiązano do istniejących punktów poziomej osnowy geodezyjnej I i II klasy, klasycznymi pomiarami kątowno-liniowymi oraz techniką pomiarów satelitarnych w systemie GPS. W ramach założonej osnowy odtwarzalnej adaptowano 480 punktów istniejącej szczegółowej poziomej osnowy III klasy.

Dzięki wykonanej modernizacji poziomej osnowy geodezyjnej uzyskano wiarygodną i wysoce dokładną podstawę dla realizacji prac geodezyjnych i kartograficznych. Maksymalna wielkość błędu położenia punktu poziomej osnowy odtwarzalnej III klasy miasta Zielona Góra wynosi $m_p = 0,027$ m. Należy także nadmienić, iż metodą niwelacji geometrycznej z dokładnością 10 mm/1 km wyznaczono wysokości punktów poligonowych (stabilizowanych ziemnie) oraz punktów odtwarzalnych „typu A”, uzyskując sieć punktów zaklasyfikowanych do szczegółowej wysokościowej osnowy geodezyjnej IV klasy (Sprawozdanie, 1999a). W ten sposób zrealizowana szczegółowa osnowa odtwarzalna III klasy spełnia rolę osnowy dwufunkcyjnej (Instrukcja techniczna G-2, 2002). Jak wynika z dotychczasowych doświadczeń, stanowi to znaczące udogodnienie realizacji bezpośrednich pomiarów sytuacyjno-wysokościowych (Dąbrowski, Dorzak, 1997).

Pochodząca z nowego opracowania szczegółowa pozioma osnowa geodezyjna III klasy posłużyła jako zbiór punktów dostosowania (punkty III klasy w liczbie 3115, obok 84 punktów I i II klasy osnowy poziomej) w wyznaczeniu parametrów transformacji pomiędzy układem lokalnym miasta Zielona Góra a państwowym układem współrzędnych "2000" (Kadaj, 2002).

Zgodnie z informacjami uzyskanymi z Wydziału Geodezji i Gospodarowania Mieniem Urzędu Miasta Zielona Góra wiadomo, że w oparciu o wyznaczone parametry transformacji przeliczono zasób wielkoskalowej mapy cyfrowej miasta Zielona Góra do układu „2000”.

Ocena dokładności opracowania sytuacyjnego wielkoskalowej mapy cyfrowej w zakresie treści mapy ewidencji gruntów i budynków oraz mapy zasadniczej

Celem prac badawczych było określenie rzeczywistej dokładności położenia szczegółów sytuacyjnych I grupy dokładnościowej, zapisanego poprzez ich współrzędne płaskie (X , Y) w bazie danych mapy cyfrowej miasta Zielona Góra. W dalszej kolejności, w oparciu o stwierdzone błędy położenia szczegółów sytuacyjnych I grupy, wyznaczono zakres przydatności analizowanych szczegółów sytuacyjnych zgromadzonych w bazie danych oraz określono dokładność opracowania sytuacyjnego wielkoskalowej mapy cyfrowej.

Dokładność opracowania sytuacyjnego analizowanej mapy cyfrowej oceniono w nawiązaniu do wymogów Wytycznych technicznych K-1.2 (1981), w których podano, że błąd położenia punktu sytuacyjnego I grupy dokładnościowej na mapie analogowej (tożsamej z wypłotowaną prezentacją graficzną mapy cyfrowej) nie powinien przekroczyć $\pm 0,3$ mm w skali mapy. Ogólnie rzecz ujmując, badanie dokładności oparto na porównaniu współrzędnych trzech rodzajów (nienaruszonych w terenie) szczegółów sytuacyjnych I grupy – zapisanych w pierwotnym wyznaczeniu ich położenia (zawartym w bazie danych analizowanej mapy cyfrowej) ze współrzędnymi pozyskanymi z kontrolnie wykonanego nowego pomiaru bezpośredniego. Badania wykonano w oparciu o łącznie 1619 punktów kontrolnych następującego rodzaju: punkty załamania konturu budynków (oznaczone literą B), punkty graniczne (oznaczone literą G) oraz punkty armatury uzbrojenia naziemnego (oznaczone literą U).

Kontrolne pomiary terenowe wykonano (zgodnie z warunkami technicznymi autorstwa Władysława Dąbrowskiego) tachimetrem elektronicznym w nawiązaniu do poziomej geodezyjnej osnowy odtwarzalnej III klasy o dokładności $m_p < 0,03$ m. Wzorcowe współrzędne punktów kontrolnych wyznaczono z pomiarów zawierających obserwacje nadliczbowe, co pozwoliło na wyrównanie ściśle wyników pomiarów i ocenę ich dokładności (wyrównanie przeprowadzono w programie SIEĆ 95 autorstwa Idziego Gajderowicza). Stwierdzono, że średnia wielkość błędu położenia punktów kontrolnych wyniosła $m_{pl} = 0,018$ m (Sprawozdanie, 1999b).

Wielkoskalową mapę cyfrową miasta Zielona Góra opracowano na podstawie istniejących wyników pomiarów sytuacyjnych przeprowadzonych w latach 1974–1999 głównie metodą domiarów prostokątnych z punktów poligonizacji technicznej II klasy (bądź z opartej na niej osnowy pomiarowej) założonej w latach 1973–1974 przez Państwowe Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Kartograficzne wg Instrukcji B-III.

Pomiar kątów wykonano teodolitem Theo 010 w 2 seriach, zaś odległości taśmą stalową ze wskaźnikami lub Distomatem DI-10. Osnowę wyrównano dwurzędowo metodą punktów węzłowych. Błędy średnie punktów węzłowych nie przekroczyły 0,15 m. Osnowa z 1974 r. była w miarę potrzeb modernizowana i uzupełniana do 1999 roku. Na jej podstawie dokonywano sukcesywnych pomiarów sytuacyjnych, głównie metodą domiarów prostokątnych, a w ostatnich latach metodą biegunową z wykorzystaniem tachimetru elektronicznego. Wyniki pomiarów, wykonanych w latach 1974–1999, posłużyły do zbudowania bazy danych mapy cyfrowej w systemie GEO-INFO.

Zgodnie z wytycznymi Grodzkiego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Zielonej Górze badanie dokładności opracowania sytuacyjnego mapy cyfrowej wykonano na 7 obiektach kontrolnych uznanych za reprezentatywne dla poszczególnych obszarów miasta. Pozwoliło to na przeniesienie wyników analiz dokładnościowych danego obiektu na obszar o jednorodnej lub zbliżonej technologii wyznaczenia współrzędnych punktów sytuacyjnych I grupy dokładnościowej, zawartych w bazie danych mapy cyfrowej.

W pierwszym etapie badań uzgodniono i ujednolicono układy współrzędnych, przetransformowano współrzędne punktów kontrolnych pozyskane z bazy danych analizowanej mapy do układu obowiązującej poziomej osnowy geodezyjnej (w nawiązaniu, do której zrealizowano pomiary kontrolne). Wykonano transformację afiniczną w oparciu o punkty poziomej osnowy geodezyjnej III klasy, które funkcjonowały w osnowie z lat 70., a następnie zostały włączone do nowo założonej osnowy odtwarzalnej. W żadnym z obiektów kontrolnych średni błąd transformacji nie przekroczył 0,10 m.

Następnie, w oparciu o różnice współrzędnych punktów kontrolnych (wyrażone w jednolitym układzie współrzędnych), wyznaczono dokładność położenia szczegółów sytuacyjnych. Błąd położenia punktu sytuacyjnego obliczono w oparciu o poniższą zależność (Dąbrowski i in., 1999):

$$m_{P_{II}} = \sqrt{\left(\frac{[\Delta L^2]}{N} - m_{P_I}^2 \right)} \quad (1)$$

gdzie:

$m_{P_{II}}$ – błąd położenia punktu na ocenianej mapie cyfrowej,

m_{P_I} – błąd położenia punktu wyznaczonego z kontrolnego pomiaru bezpośredniego,

$\Delta L = \sqrt{(X_{II} - X_I)^2 + (Y_{II} - Y_I)^2}$ – długość wektora przesunięcia punktu kontrolnego,

X_{II}, Y_{II} – współrzędne punktu kontrolnego pozyskane z bazy danych ocenianej mapy cyfrowej,

X_I, Y_I – wzorcowe współrzędne punktu kontrolnego,

N – liczba punktów kontrolnych.

W związku z tym, iż badany zasób bazowy dotyczy obszaru miejskiego, prezentacja graficzna mapy cyfrowej ma spełniać rolę mapy zasadniczej (terenu zurbanizowanego) w skali 1:500. Graniczną wielkość błędu położenia szczegółu sytuacyjnego określono jako trzykrotną średnią wielkość błędu:

$$0,0003 \text{ m} \times 500 = 0,15 \text{ m}; \quad 0,15 \text{ m} \times 3 = 0,45 \text{ m} \Rightarrow \text{błąd graniczny} - m_{P_{gr}} = 0,45 \text{ m}.$$

W odniesieniu do punktów kontrolnych o $\Delta L > 0,45 \text{ m}$ przyjęto, że są obciążone błędami grubymi i poddano je gruntownej analizie. Na każdym obiekcie kontrolnym zlokalizowano punkty kontrolne obciążone błędami grubymi oraz określono jaki odsetek stanowią one w całości zbioru punktów kontrolnych (Sprawozdanie, 1999c).

Obiekty 1, 2, 5 i 6 opracowano podobnie, ponieważ w przypadku każdego z nich liczba punktów kontrolnych o błędach grubych nie przekroczyła 3% zbioru punktów kontrolnych. Ponadto nie stwierdzono na ich obszarach żadnej prawidłowości w położeniu punktów kontrolnych o błędach grubych. W tej sytuacji punkty obciążone błędami grubymi wyłączono z badań, a na podstawie pozostałych określono błąd położenia punktu ($m_{P_{II}}$) w zbiorze wszystkich punktów kontrolnych łącznie oraz z podziałem na rodzaje szczegółów I grupy dokładnościowej.

Każdy z pozostałych trzech obiektów kontrolnych opracowano odrębnie, stosując do każdego z nich podejście indywidualne, ze względu na zaobserwowane cechy analizowanych zbiorów.

W przypadku obiektu 3 stwierdzono, iż 13% punktów jest obciążonych błędami grubymi. Ponadto wykonana analiza położenia punktów kontrolnych wskazała, że punkty obciążone błędami grubymi znajdują się na arkuszach map 1(5), 2(5) i 4(5). Ponieważ były to sąsiednie arkusze położone w środkowej części obiektu dlatego też, aby nie przesądzały one o dokładności pozostałych arkuszy, wyznaczono błąd położenia punktu na każdym z arkuszy oddzielnie (tab. 1).

Do obliczeń dotyczących arkuszy 1(5), 2(5) i 4(5) włączono wszystkie znajdujące się na nich punkty kontrolne, z wyjątkiem punktu granicznego o numerze 25280, którego wielkość $\Delta L = 5,83 \text{ m}$ trudno było jakkolwiek skomentować. Było to konieczne ponieważ błędy grube stanowiły odpowiednio na arkuszu: 2(5) – 42%, 4(5) – 10%, 1(5) – 6% punktów zbioru kontrolnego. Na arkuszach 3(5) i 5(5) w zbiorze punktów kontrolnych nie stwierdzono punktów o błędach grubych.

Punktami kontrolnymi w obiekcie 3 były niemalże wyłącznie punkty załamania konturu budynków. Mały odsetek stanowiły punkty graniczne na trzech arkuszach, odpowiednio: 2(5) – 10%, 4(5) – 14% i 5(5) – 6%. W związku z tym wyznaczono błąd położenia punktu kontrolnego łącznie, bez wyszczególniania rodzajów punktów.

Na obiekcie 4 stwierdzono, że 7% punktów kontrolnych obarczonych jest błędami grubymi. W przeprowadzonej analizie położenia punktów kontrolnych, punkty obciążone błędami grubymi zlokalizowano na arkuszach map 2(7), 3(7), 4(7) i 7(7). Arkusze te znajdowały się w centralnej części obiektu i zasięgiem swym obejmowały znaczną część jego obszaru. Dlatego też dokładność pozostałych arkuszy, przy małym zasięgu obszarowym i niewielkiej liczbie punktów kontrolnych, nie mogła być wyznaczona oddzielnie.

W związku z tym, że z 7% punktów kontrolnych o błędach grubych około 1% obarczonych było błędami rzędu 3 metrów, a pozostałe 6% nieznacznie przekroczyły wielkość błędu grubego (0,45 m) – obliczono błąd średni położenia punktu kontrolnego (w obiekcie 4) w dwóch wariantach:

I. Wszystkie punkty obciążone błędami grubymi wyłączono z obliczeń.

II. Wyłączono z obliczeń tylko punkty z błędami bardzo dużymi – rzędu 3 m.

W obu z nich określono błąd położenia punktu ($m_{p_{II}}$) w zbiorze wszystkich punktów kontrolnych łącznie oraz z podziałem na rodzaje szczegółów I grupy dokładnościowej.

Obiekt 7 reprezentowany był aż w 23% punktami kontrolnymi o błędach grubych. Po przeanalizowaniu położenia punktów kontrolnych stwierdzono, że punkty obciążone błędami grubymi znajdują się prawie wyłącznie na arkuszu 1(2). Ponadto stanowią one 70% punktów kontrolnych tego arkusza, a średnia długość wektora przesunięcia wynosi 1,96 m. Przesądziło to o zaniechaniu dalszych badań arkusza 1(2) ze względu na bardzo małą dokładność położenia szczegółów sytuacyjnych I grupy dokładnościowej.

Natomiast w przypadku arkusza 2(2) stwierdzono 3% punktów kontrolnych obarczonych błędami grubymi – wyłączono je z dalszych obliczeń. Wyznaczono błąd położenia punktu kontrolnego łącznie dla wszystkich punktów kontrolnych arkusza 2(2). Jednakże ocena ta może być jednoznacznie traktowana w odniesieniu do punktów załamania konturu budynków, gdyż stanowią one 94% zbioru punktów kontrolnych arkusza.

Podsumowanie badania dokładności opracowania sytuacyjnego mapy wielkoskalowej

Obliczenia i analizy wykonane na obiektach kontrolnych pozwoliły na określenie rzeczywistej dokładności opracowania sytuacyjnego mapy cyfrowej miasta Zielona Góra (Dąbrowski, Doskocz, 2000b). Dokładność mapy scharakteryzowano błędem położenia szczegółu sytuacyjnego I grupy dokładnościowej ($m_{p_{II}}$).

Ze względu na stwierdzone kilkumetrowe błędy uznano, że arkusz 1(2) obiektu 7 nie spełnia wymogów dokładnościowych. Z pozostałych obiektów duże wielkości błędów położenia punktu sytuacyjnego stwierdzono na obiekcie 3, a w szczególności błąd $m_{p_{II}} = 0,57$ m adekwatny dla arkusza 2(5). Dokładność arkuszy obiektu 3 jest generalnie mniejsza od dokładności arkuszy map pozostałych badanych obiektów.

Po uwzględnieniu wymogów dokładnościowych wytycznych K-1.2 (1981), w odniesieniu do wyznaczonych błędów położenia szczegółów sytuacyjnych I grupy, określono dozwolone skale prezentacji graficznej badanej mapy cyfrowej. Następnie skale zaszeregowano

Tabela 1. Stwierdzone błędy położenia szczegółów sytuacyjnych pierwszej grupy dokładnościowej na poszczególnych obiektach kontrolnych wielkoskalowej mapy cyfrowej

Metoda wyznaczenia współrzędnych punktów sytuacyjnych	Skala bazowa opracowania mapy cyfrowej	Numer obiektu kontrolnego	Rodzaj i liczba punktów kontrolnych	Stwierdzony błąd położenia punktu m_{pl} [m]	Mianownik skali mapy spełniający wymóg standardu dokładności (dozwolona skala prezentacji graficznej)	
1	2	3	4	5	6	
Obliczenie współrzędnych z wyników wcześniejszych pomiarów bezpośrednich	1:500	1	B – 200	0,14	466 (1:500)	
			G – 57	0,19	633 (1:1000)	
			Łącznie – 257	0,15	500 (1:500)	
		2	B – 93	0,21	700 (1:1000)	
			G – 124	0,21	700 (1:1000)	
			Łącznie – 217	0,21	700 (1:1000)	
		3	arkusz 1(5)	32	0,25	833 (1:1000)
			arkusz 2(5)	40	0,57	1900 (1:2000)
			arkusz 3(5)	13	0,24	800 (1:1000)
			arkusz 4(5)	86	0,28	933 (1:1000)
			arkusz 5(5)	34	0,16	533 (1:500)
		4	I wariant	B – 183	0,19	633 (1:1000)
				G – 45	0,16	533 (1:500)
				Łącznie – 228	0,19	633 (1:1000)
			II wariant	B – 193	0,22	733 (1:1000)
				G – 48	0,20	666 (1:1000)
				Łącznie – 241	0,22	733 (1:1000)
		5	B – 131	0,10	333 (1:500)	
			G – 66	0,23	766 (1:1000)	
			U – 121	0,24	800 (1:1000)	
			Łącznie – 318	0,20	666 (1:1000)	
		6	B – 150	0,16	533 (1:500)	
			G – 67	0,07	233 (1:250)	
			U – 47	0,14	466 (1:500)	
			Łącznie – 264	0,14	466 (1:500)	
		7	arkusz 1(2)	B – 20	0,77	2566 (1:5000)
				G – 1	0,87	2900 (1:5000)
				Łącznie – 21	0,77	2566 (1:5000)
			arkusz 2(2)	B – 67	0,20	666 (1:1000)
				G – 5	0,28	933 (1:1000)
Łącznie – 72	0,21			700 (1:1000)		

zgodnie z obowiązującą systematyką opracowań geodezyjnych (Instrukcja techniczna K-1, 1998), uzyskując informację o użyteczności bazy danych wielkoskalowej mapy cyfrowej miasta Zielona Góra. Wyniki badań i płynące z nich zalecenia przedstawiono w tabeli 1.

Ocena dokładności opracowania sytuacyjnego ortofotomapy cyfrowej w skali bazowej 1:2000

Celem pracy było wyznaczenie błędów położenia wybranych szczegółów sytuacyjnych na rastrowym obrazie ortofotomapy opracowanej w skali bazowej 1:2000, a następnie ocena rzeczywistej dokładności opracowania sytuacyjnego ortofotomapy i określenie jej użyteczności do zarządzania infrastrukturą miasta Zielona Góra.

Pracę badawczą wykonano na podstawie 33 sekcji ortofotomapy w postaci rastrowej (pliki .tif) i towarzyszących im plików referencyjnych (.tfw), udostępnionych do badań przez Wydział Geodezji i Gospodarowania Mieniem Urzędu Miasta Zielona Góra.

Analizowaną ortofotomapę cyfrową miasta Zielona Góra wykonano ze zdjęć lotniczych (zrealizowanych w marcu 2002 roku) w skali 1:6000. Opracowanie ortofotomapy w skali 1:2000 wykonała firma FotoGIS z Pruszkowa, w technologii zapewniającej uzyskanie terenowego wymiaru piksela równego 0,20 m (UMZG, 2006a).

Ocenę dokładności opracowania sytuacyjnego ortofotomapy cyfrowej przeprowadzono przez porównanie współrzędnych wybranych punktów sytuacyjnych pozyskanych metodą wektoryzacji manualnej ze współrzędnymi tych samych punktów wyznaczonymi w wyniku pomiarów kontrolnych.

Pomiary kontrolne zostały wykonane, zgodnie z warunkami technicznymi autorstwa Władysława Dąbrowskiego, przez Okręgowe Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Kartograficzne GEOMAP Sp. z o.o. z siedzibą w Zielonej Górze. W nawiązaniu do wysoko dokładnej ($m_p < 0,03$ m) osnowy odtwarzalnej III klasy, firma GEOMAP pomierzyła tachimetrem elektronicznym 501, równomiernie rozmieszczonych na obszarze miasta, szczegółów sytuacyjnych (niemal wyłącznie) I grupy o różnej dokładności identyfikacji na rastrowym obrazie ortofotomapy.

Wśród pomierzonych punktów kontrolnych były m.in.: punkty armatury uzbrojenia naziemnego – środki geometryczne pokryw tzw. studzienek; punkty załamania konturu budynków; punkty załamania linii krawężnika otaczającego: zieleńce, skwery, parkingi i inne elementy powierzchniowe trwałej infrastruktury komunikacyjnej; słupy ogrodzeniowe; latarnie uliczne; słupy linii napowietrznych armatury uzbrojenia nadziemnego itp.

Z materiału pomiarowego zawierającego co najmniej dwie obserwacje nadliczbowe dla każdego kontrolnie pomierzonego punktu sytuacyjnego uzyskano (w wyniku wyrównania ścisłego) współrzędne płaskie (X_p, Y_p) w układzie „2000” i błąd położenia – średnia wielkość błędu położenia wyniosła $m_{pI} = 0,03$ m (Sprawozdanie, 2004).

Współrzędne określające sytuacyjne położenie punktów kontrolnych na rastrowym obrazie ortofotomapy wyznaczono ostatecznie jako wartość średniej arytmetycznej ze współrzędnych pozyskanych w wyniku dwukrotnej manualnej wektoryzacji tych punktów. Uśrednione współrzędne (X_{II}, Y_{II}) z wyników dwukrotnej wektoryzacji były podstawą do realizacji badań w zakresie oceny dokładności ortofotomapy cyfrowej miasta Zielona Góra. W ramach tych badań, porównano je ze współrzędnymi (tych samych szczegółów sytuacyjnych) wyznaczonymi w trakcie terenowego pomiaru kontrolnego.

Ocenę dokładności opracowania sytuacyjnego ortofotomapy zrealizowano zgodnie z metodyką przedstawioną w pracach (Dąbrowski i in., 1999) oraz (Doskocz, 2003).

W trakcie manualnej wektoryzacji sytuacyjnego położenia punktów kontrolnych stwierdzono (Sprawozdanie, 2005), że 39 punktów kontrolnych jest nieprzydatnych do badań (znajdują się one na obszarze 18 sekcji ortofotomapy, z ogólnej liczby 33 analizowanych sekcji). Nieprzydatne punkty kontrolne stanowią 7,8 % spośród zbioru 501 punktów wyznaczonych w pomiarach terenowych.

Zasadniczym powodem wyłączenia punktów nieprzydatnych z dalszych analiz i badań, był brak możliwości jednoznacznego odczytania ich współrzędnych płaskich z rastrowego obrazu ortofotomapy. W związku z tym, ocenę dokładności ortofotomapy cyfrowej m. Zieleni Góra zrealizowano w oparciu o zbiór 462 punktów kontrolnych.

Uzyskane wyniki dwukrotnej wektoryzacji wykorzystano do oceny dokładności manualnego wyznaczenia współrzędnych punktów kontrolnych na rastrowym obrazie ortofotomapy. Na podstawie różnic współrzędnych (zgodnie z teorią par obserwacji) oszacowano dokładność wektoryzacji w ramach analizowanych grup punktów sytuacyjnych dla poszczególnych sekcji ortofotomapy cyfrowej (i łącznie w obszarze badań) za pomocą poniżej zapisanej formuły (Doskocz, 2003):

$$m_w = \sqrt{\frac{[\Delta W^2]}{2 \cdot N}} \quad (2)$$

gdzie $\Delta W = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$ jest długością wektora utworzonego ze współrzędnych punktu wyznaczonych w podwójnej wektoryzacji, a N jest liczbą zwektoryzowanych punktów kontrolnych.

Stwierdzono, że dokładność wektoryzacji sytuacyjnego położenia punktów kontrolnych, na obszarze analizowanej ortofotomapy opracowanej w skali bazowej 1:2000, wyniosła średnio 0,05 m (zakres dokładności wektoryzacji punktów kontrolnych, na rastrowych obrazach poszczególnych sekcji ortofotomapy, wyniósł od 0,03 m do 0,08 m). Stanowiło to dobry wynik zgodny z dokładnością, fotogrametrycznych pomiarów punktowych, prezentowaną w literaturze przedmiotu (np. Preuss, 1994).

Błąd położenia (m_{pl}) poszczególnych rodzajów szczegółów sytuacyjnych wyznaczono na podstawie porównania współrzędnych pozyskanych z wektoryzacji ortofotomapy ze współrzędnymi tych samych szczegółów sytuacyjnych wyznaczonymi z wyników pomiaru kontrolnego, wykonanego w oparciu o istniejącą osnowę odtwarzalną III klasy. Wykonując obliczenia zgodnie z zależnością (1), przeanalizowano długości wektora przesunięcia punktów kontrolnych (Sprawozdanie, 2006).

W przeprowadzonej analizie całości zbioru długości (ΔL) wektora przesunięcia punktów kontrolnych badanej ortofotomapy cyfrowej stwierdzono, że: średnia długość wektora przesunięcia wynosi 0,28 m, a zdecydowana większość wektorów (95%) nie przekracza dwukrotnie średniej długości wektora ($\Delta L \leq 0,56$ m); ale jednocześnie kilka (dokładnie 6) wektorów przesunięcia punktu kontrolnego wykazuje długość rzędu $\Delta L = 1,0 \text{ m} \pm 0,2 \text{ m}$.

W związku z tym – w sekcjach ortofotomapy oraz w ramach grup rodzajów sytuacyjnych punktów kontrolnych, w których stwierdzono wektory przesunięcia przekraczające trzykrotnie średnią długość wektora (0,84 m) – obliczenia wykonano także w drugim wariancie z wyłączeniem wektorów o $\Delta L > 0,84$ m. Uznając, iż wektory o tak dużej długości powstały w sposób losowy – przy braku jakichkolwiek podstaw sformułowania tezy o nie

zachowaniu jednorodnej dokładności opracowania sytuacyjnego ortofotomapy cyfrowej – a przyczyn zaistnienia takiego zdarzenia należy się dopatrywać po stronie procesu pozyskania współrzędnych punktu kontrolnego metodą manualnej wektoryzacji przeprowadzonej na rastrowym obrazie ortofotomapy.

Zestawienie stwierdzonych błędów położenia punktów kontrolnych (których sytuacyjną lokalizację na rastrowym obrazie ortofotomapy wyznaczono metodą manualnej wektoryzacji) uszeregowanych w ramach poszczególnych rodzajów szczegółów sytuacyjnych przedstawiono poniżej w tabeli 2.

Tabela 2. Stwierdzone błędy położenia analizowanych rodzajów szczegółów sytuacyjnych na rastrowym obrazie ortofotomapy

Lp.	Rodzaj sytuacyjnego punktu kontrolnego	Liczba analizowanych punktów kontrolnych	Dokładność wektoryzacji m_w [m]	Średnia długość wektora przesunięcia ΔL [m]	Stwierdzony błąd położenia punktu kontrolnego m_{pl} [m]	Mianownik skali mapy spełniający wymóg standardu dokładności (dozwolona skala prezentacji graficznej)
1	2	3	4	5	6	7
1	Element ogrodzenia inny	15 14*	0,06	0,33 0,27	0,43 0,30	1433 (1:2000) 1000 (1:1000)
2	Narożnik elementu betonowego	36 34*	0,06	0,35 0,31	0,42 0,35	1400 (1:2000) 1166 (1:2000)
3	Punkt załamania konturu budynku	28	0,07	0,30	0,33	1100 (1:1000)
4	Punkt załamania linii krawężnika	172	0,05	0,29	0,33	1100 (1:1000)
5	Słup inny	130 128*	0,05	0,25 0,24	0,29 0,27	966 (1:1000) 900 (1:1000)
6	Słup ogrodzenia	40	0,06	0,27	0,30	1000 (1:1000)
7	Studzienka	41 40*	0,05	0,27 0,26	0,31 0,28	1033 (1:1000) 933 (1:1000)
Łącznie		462 456*	0,05	0,28 0,27	0,33 0,31	1100 (1:1000) 1033 (1:1000)

* drugi wariant

Podsumowanie badania dokładności opracowania sytuacyjnego ortofotomapy cyfrowej

Ocenę dokładności opracowania sytuacyjnego ortofotomapy cyfrowej miasta Zielona Góra scharakteryzowano błędem położenia punktu (m_{pH}). W ramach grup poszczególnych rodzajów analizowanych szczegółów sytuacyjnych stwierdzono, że błędy położenia punktu wynoszą od 0,27 m do 0,35 m. Rozpatrywane szczegóły sytuacyjne, będące niemal wyłącznie szczegółami I grupy dokładnościowej, charakteryzują się dużą dokładnością identyfikacji na rastrowym obrazie ortofotomapy oraz dostępnością dla stosunkowo łatwego wyznaczenia ich jednoznacznego położenia metodą manualnej wektoryzacji.

Dokładność opracowania sytuacyjnego badanej ortofotomapy cyfrowej rzędu 1–2 piksele potwierdziła poziom dokładności wskazywany w literaturze przedmiotu (Kaczyński i in., 1999).

Konkluzja na temat zrealizowanych prac w zakresie modernizacji i utrzymania odpowiedniej jakości państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego oraz ich bezpośrednich korzyści dla zarządzania infrastrukturą miasta

Dzięki wykonanej modernizacji szczegółowej poziomej osnowy geodezyjnej III klasy na terenie miasta Zielona Góra uzyskano wiarygodną i wysoce dokładną podstawę dla realizacji prac geodezyjnych i kartograficznych. Maksymalna wielkość błędu położenia punktu poziomej osnowy odtwarzalnej III klasy miasta Zielona Góra wynosi $m_p = 0,027$ m. Oparty na tej osnowie sytuacyjny pomiar kontrolny, również charakteryzuje się wysoką dokładnością. Błędy położenia punktów kontrolnych (bezwzględne wielkości, po uwzględnieniu błędności punktów osnowy) wahają się od 0,03 m do 0,05 m.

Z dotychczasowych doświadczeń wielu miast i gmin w Polsce (liczba wdrożeń technologii osnów odtwarzalnych wynosi ponad 250) wynika, że w przypadku pomiarów sytuacyjnych realizowanych na terenach zurbanizowanych osnowa III klasy wykonana w technologii odtwarzalnej zapewnia możliwość wyznaczenia położenia szczegółów z najwyższą dokładnością bezwzględną (Dąbrowski, Duskocz, 2000a).

Prawidłowe użytkowanie osnowy III klasy założonej w technologii odtwarzalnej, często eliminuje potrzebę jej rozwijania (przy wykonywaniu szczegółowych pomiarów sytuacyjnych oraz sytuacyjno-wysokościowych) do tradycyjnych ciągów osnowy pomiarowej (Dąbrowski, Dorzak, 1997).

Ponadto punkty osnowy pomiarowej zakładane popularnymi konstrukcjami geodezyjnymi (głównie metodą kątowno-liniowych wcięć wstecz) ściśle wyrównywanymi w nawiązaniu do osnowy odtwarzalnej III klasy również charakteryzują się wysoką dokładnością – m_p nie większe niż 0,05 m (Dąbrowska i in., 1995).

W modernizacji szczegółowej osnowy geodezyjnej niezwykle istotnym jest aspekt adaptacji punktów istniejącej osnowy III klasy, charakteryzującej się odpowiednią dokładnością (z wyrównania ścisłego) i nienaruszoną stabilizacją terenową. Jak wykazały przeprowadzo-

ne badania, poprawne postępowanie inżynierskie zrealizowane w mieście Zielona Góra pozwoliło na przejście wartościowych wyników pomiarów sytuacyjnych (zapisanych w gromadzonych operatach technicznych) wykonywanych na przestrzeni ostatnich 30. lat i na ich podstawie zbudowanie bazy danych wielkoskalowej mapy cyfrowej.

Przeprowadzona ocena dokładności opracowania sytuacyjnego w zakresie treści mapy ewidencji gruntów i budynków oraz mapy zasadniczej pozwoliła na określenie rzeczywistej dokładności wielkoskalowej mapy cyfrowej miasta Zielona Góra, którą scharakteryzowano błędem położenia szczegółu sytuacyjnego I grupy dokładnościowej (m_{P_H}). Stwierdzono, że adaptowanie wyników wcześniejszych pomiarów bezpośrednich (w oparciu o dokładną osnowę geodezyjną) generalnie zapewnia wykonanie wielkoskalowej mapy cyfrowej z dokładnością dawnych pomiarów sytuacyjnych – rzędu 0,10–0,20 m. Mniejszą dokładność stwierdzono: na obszarze obiektu kontrolnego nr 3, a szczególnie w zasięgu arkusza 2(5) oraz na terenie arkusza 1(2) obiektu 7 (tab. 1). Z informacji uzyskanych z Urzędu Miasta Zielona Góra wiadomo, że wymienione mniej dokładne fragmenty mapy uzupełniono wynikiem nowych pomiarów bezpośrednich (Szczepański, 2001).

Zrealizowana ocena dokładności opracowania sytuacyjnego ortofotomapy cyfrowej miasta Zielona Góra (wykonanej w skali bazowej 1:2000) wykazała jej jednorodną dokładność. Stwierdzony błąd położenia analizowanych punktów kontrolnych wyniósł około $m_{P_H} = 0,30 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$. Wskazało to na możliwość prowadzenia punktowych pomiarów sytuacyjnych, wykonywanych na rastrowym obrazie badanej ortofotomapy, z wysoką dokładnością. Uzyskane wyniki, w odniesieniu do zbadanych szczegółów sytuacyjnych (niemal wyłącznie I grupy dokładnościowej), pozwalają na ich prezentację graficzną nawet w skali 1:1000 (tab. 2). Oprócz powyżej akcentowanych walorów ortofotomapy cyfrowej miasta Zielona Góra w zakresie możliwości prowadzenia analiz i pozyskiwania informacji w ramach zbioru ocenianych obiektów punktowych, należy wskazać na ogromny potencjał profesjonalnie (geodezyjnie) opracowanego materiału fotograficznego oraz wszechstronność i różnorodność zgromadzonych w nim informacji o terenie.

Wyniki badań potwierdziły także, iż ortofotomapa cyfrowa miasta Zielona Góra (opracowana w skali 1:2000) w naturalny sposób staje się wartościowym uzupełnieniem cyfrowych opracowań mapowych (cyfrowej mapy zasadniczej oraz cyfrowej mapy ewidencji gruntów i budynków), którymi już od kilku lat dysponuje Wydział Geodezji i Gospodarowania Mieniem Urzędu Miasta Zielona Góra. Ortofotomapa, jako opracowanie autonomiczne, bądź w połączeniu z treścią innych map cyfrowych, jest doskonałym źródłem do realizacji opracowań tematycznych i studialnych w ramach miejskiego systemu GIS (UMZG, 2006b). Albowiem wiadomym jest, że pozyskanie wiarygodnych i dokładnych danych jest warunkiem poprawnego wykonywania prac na przykład z zakresu geodezji gospodarczej (Doskocz, 2005).

W związku z powyższym w podsumowaniu należy stwierdzić, że – w warunkach powszechnego tworzenia map cyfrowych będących często produktami o niepełnej aktualności i nieokreślonej dokładności – postępowanie Urzędu Miasta Zielona Góra w zakresie rozwiązania kwestii modernizacji geodezyjnej osnowy szczegółowej oraz technologii wykonania wielkoskalowych opracowań cyfrowych zasługuje na pełne uznanie i jest godne naśladowania.

Literatura

- Dąbrowska D., Dąbrowski W., Lewandowicz E., Nojak J., Wierciński T., 1995: Sytuacyjna mapa numeryczna z pomiarów bezpośrednich – pierwsze doświadczenia nauczania technologii. [W:] Systemy Informacji Przestrzennej, V Konferencja Naukowo-Techniczna, Wydawnictwo Fundacja „Rozwój SGGW”, Warszawa.

- Dąbrowski W., Dorzak A., 1997: Perspektywy rozwoju technologii osnów odtwarzalnych w świetle 12-letnich doświadczeń. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Seria: *Geodezja i Urządzenia Rolne* XIV, Nr 324.
- Dąbrowski W., Dąbrowska D., Doskocz A., Lubarski J., 1999: Czy numerycznie znaczy dokładnie. *Magazyn Geoinformacyjny GEODETA*, Nr 4 (47), s. 26-27. <http://www.atomnet.pl/~geodeta/1999/47text2.htm>
- Dąbrowski W., Doskocz A., 2000a: Osnowy za mało dokładne. *Magazyn Geoinformacyjny Geodeta* nr 7 (62).
- Dąbrowski W., Doskocz A., 2000b: Badanie dokładności mapy numerycznej m. Zielona Góra [W:] Systemy Informacji Przestrzennej, X Konferencja Naukowo-Techniczna, Wydawnictwo „Wieś Jutra”, Warszawa.
- Doskocz A., 2003, Ocena dokładności ortofotomapy cyfrowej. *Przegląd Geodezyjny*, Nr 4.
- Doskocz A., 2005: Analiza dokładności obliczenia pola powierzchni ze współrzędnych. *Przegląd Geodezyjny*, Nr 4.
- Instrukcja techniczna G-2, 2002: Szczegółowa pozioma i wysokościowa osnowa geodezyjna i przeliczenia współrzędnych między układami. Główny Geodeta Kraju, Warszawa.
- Instrukcja techniczna K-1, 1998: Mapa zasadnicza. Główny Geodeta Kraju, Warszawa.
- Jóźwiak I., Grobelny M., 2006: Miasto w komputerze. [W:] Raport Computerworld Informatyka w administracji publicznej, <http://www.idg.pl/artykuly/50735.html> (odczytano: 2006-05-29).
- Kadaj R., 2002: Wyznaczenie parametrów transformacji pomiędzy układem Zielona Góra a układem „2000”. ALGORES-SOFT s.c. Rzeszów.
- Kaczyński R., Ziobro J., Ewiak I., 1999: Dokładność poszczególnych etapów generowania ortofotomap cyfrowych ze zdjęć PHARE 1:26000. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 9, Olsztyn.
- Preuss R., 1994: Nowoczesne technologie fotogrametryczne dla tworzenia podstaw SIT. Konferencja Naukowo-Techniczna nt. Fotogrametryczna mapa numeryczna miasta, Warszawa 24-26 lutego.
- Szczepański Z., 2001: Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej, a GIS – relacje, zależności, Konferencja Jubileuszowa nt. 10 lat Systemu Informacji Przestrzennej GEO-INFO®, towarzysząca VII Międzynarodowemu Targom Geodezji i Geoinformatyki GEA'2001, Wrocław 27-29 września.
- Sprawozdanie, 1999a: Sprawozdanie techniczne z założenia osnowy poziomej szczegółowej III klasy (sieć odtwarzalna) – Obiekt: miasto Zielona Góra. Wykonawca: OPGK „Geomap” Sp. z o.o., Zielona Góra.
- Sprawozdanie, 1999b: Sprawozdanie techniczne z pomiaru kontrolnego niektórych szczegółów sytuacyjnych I grupy dokładnościowej mapy numerycznej miasta Zielona Góra. Wykonawca: OPGK „Geomap” Sp. z o.o., Zielona Góra.
- Sprawozdanie, 1999c: Sprawozdanie naukowo-techniczne – Badanie dokładności mapy numerycznej miasta Zielona Góra. Wykonawca: W. Dąbrowski, Olsztyn.
- Sprawozdanie, 2004: Sprawozdanie techniczne z pomiaru punktów kontrolnych w celu określenia dokładności ortofotomapy cyfrowej. Wykonawca: OPGK „Geomap” Sp. z o.o., Zielona Góra.
- Sprawozdanie, 2005: Sprawozdanie naukowo-techniczne – Pozyskanie współrzędnych punktów kontrolnych z rastrowego obrazu ortofotomapy miasta Zielona Góra w celu zbadania dokładności jej opracowania sytuacyjnego. Wykonawca: W. Dąbrowski, Olsztyn.
- Sprawozdanie, 2006: Sprawozdanie naukowo-techniczne – Ocena dokładności ortofotomapy cyfrowej miasta Zielona Góra. Wykonawca: W. Dąbrowski, Olsztyn.
- UMZG, 2006a: Wykonanie cyfrowej ortofotomapy dla miasta Zielona Góra w skali 1:2000.... Wykonawca: FotoGIS Jacek Koriat, Pruszków 2002 r. Dokumentacja udostępniona do wglądu przez Urząd Miasta Zielona Góra
- UMZG, 2006b: Serwis internetowy Urzędu Miasta Zielona Góra. <http://www.zielona-gora.pl/UMZG/?id=614981> (wersja z: 2006-05-29).
- Wtyczne techniczne K-1.2., 1981: Mapa zasadnicza – aktualizacja i modernizacja. Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Warszawa.

Summary

The paper presents the results of a project carried out over the last seven years by the Department of Geodesy and Property Management, Municipal Office of the City of Zielona Góra, in cooperation with the Faculty of Geodesy and Land Management, University of Warmia and Mazury in Olsztyn. The main goal of the project was to modernize the system of national geodetic and cartographic resources of the city of Zielona Góra, and to ensure its adequate quality.

A restorable control network of the 3rd class was established in Zielona Góra during the years 1998 to 1999. Points of the existing horizontal geodetic control network of class I and II were incorporated into the newly-established geodetic network by classical surveys and GPS satellite technique. A total of 480 points of the existing horizontal control network of the 3rd class were adapted for this purpose. The modernization of the horizontal geodetic control network provided an accurate and reliable basis for conducting geodetic surveys and for performing cartographic work. The maximum error of position of a point within the restorable control network of the 3rd class, established in the city of Zielona Góra, is $m_p = 0,027$ m.

The accuracy of a large-scale digital map of the city of Zielona Góra, compiled based on the results of planimetric surveys conducted during the years 1974 to 1999, was estimated in 1999. The study was performed on seven control objects, using a total of 1619 control points of the following type: corner points of building contours (denoted by the letter B), boundary points of parcels (denoted by the letter G) and points of technical utilities (denoted by the letter U). The model coordinates of control points were determined based on new field surveys (with the use of an electronic tachometer - total station survey), including redundant data, which permitted to adjust the results of control measurements and to estimate their accuracy. It was found that the adaptation of the results of previous direct measurements based on an accurate geodetic control network enabled to compile a large-scale digital map with an accuracy of 0.10 to 0.20 m (i.e. at the accuracy level of previous planimetric surveys).

The accuracy of a digital orthophotomap of the city of Zielona Góra, on a scale of 1:2000, was estimated during the years 2005 to 2006. The analysis was made based on 33 orthophotomap sheets in raster form (.tif files) with reference files (.tfw). A set of plane coordinates of 501 control points, determined by direct field measurements with an electronic tachometer, was used in the study. Detail control points, most of them belonging to the 1st accuracy group (i.e. the so-called "well defined points"), were considered. The points were easy to identify on the raster image of the orthophotomap, and available for precise positioning by manual vectorization. The error of position of the control points obtained by vectorization (on the raster image of the orthophotomap) was. This indicated the possibility to perform point planimetric surveys, using the raster image of the orthophotomap, with a high accuracy. With respect to considered detail points, a scale of 1:1000 can be used for the purpose of graphic representation of vector map data produced by manual vectorization.

The results show that a digital orthophotomap of the city of Zielona Góra became a valuable supplement of a large-scale digital map as for the content of a cadastral map and a basis map. Both as an autonomous source of information or combined with the content of other digital maps, the orthophotomap on a scale of 1:2000 can provide the basis for studies and projects carried out within the framework of municipal GIS.

dr hab. inż. Władysław Dąbrowski, prof. UWM
w.dabrowski@planeta.uwm.edu.pl
tel./fax (089) 523 39 66

dr inż. Adam Doskocz
adam.doskocz@uwm.edu.pl
tel./fax (089) 523 48 78