

**BADANIE DOKŁADNOŚCI MANUALNEJ WEKTORYZACJI
OBIEKTÓW INFRASTRUKTURY KOLEJOWEJ
NA ORTOFOTOMAPIE SATELITARNEJ**

**RESEARCH OF MANUAL VECTORIZATION ACCURACY
FOR RAIL INFRASTRUCTURE OBJECTS
USING A SATELLITE ORTHOPHOTOMAP**

Artur Plichta

Zakład Geodezji, Politechnika Poznańska

SŁOWA KLUCZOWE: kolejowy GIS, wektoryzacja obrazu rastrowego, mapa numeryczna, dokładność położenia szczegółów sytuacyjnych

STRESZCZENIE: Aktualnie istniejące i wykorzystywane przez PKP systemy informacyjne dostarczają jedynie możliwości uzyskiwania informacji opisowych o wybranych obiektach infrastruktury kolejowej. Dane te nie są jednak obecnie wystarczające i wymagają uzupełnienia oraz pełnej integracji z danymi o charakterze przestrzennym. Oznacza to praktycznie konieczność budowania geograficznych systemów informacyjnych ukierunkowanych na zagadnienia kolejnictwa. Celem niniejszej pracy jest udzielenie odpowiedzi na pytanie, czy i w jakim zakresie wysokorozdzielcze zobrażenia satelitarne mogą być podstawą budowy geometrycznej części Geograficznego Kolejowego Systemu Informacyjnego dla celów zarządzania oraz inwentaryzowania obiektów infrastruktury kolejowej. Dokonano oceny przydatności obrazów z satelity QuickBird dla pozyskiwania informacji przestrzennej o powyższych obiektach w aspekcie celów, jakim odpowiadać ma tworzony system. Poddano wektoryzacji manualnej wybrane elementy infrastruktury kolejowej dla fragmentu poznańskiego węzła kolejowego, obejmującego dwie stacje kolejowe i odcinek szlaku kolejowego zawarty między nimi. Oceniono dokładność przeprowadzonej wektoryzacji, a w dalszym etapie dokładność położenia sytuacyjnego badanych obiektów. Stwierdzono wysoką skuteczność wyznaczenia położenia elementów infrastruktury kolejowej, spełniającą wymagania dla map z przedziału skal 1:5 000÷1:10 000.

1. FOTOGRAMETRIA A SYSTEMY INFORMACJI GEOGRAFICZNEJ

Ze względu na szybki rozwój metod zdalnego pozyskiwania danych o terenie i środowisku z pułapu satelitarnego oraz nieustanny rozwój cyfrowych technologii ich przetwarzania, integracji i wizualizacji, zakres możliwości generowania na ich podstawie danych fotogrametrycznych i teledetekcyjnych stale wzrasta. Stają się one coraz bardziej przydatne dla tworzenia różnorodnych baz danych i systemów informacyjnych, powodując tym samym stały wzrost kręgu użytkowników. Zupełnie nowa sytuacja powstała z chwilą zaistnienia satelitarnych systemów obrazowania o bardzo dużej rozdzielczości. Pod względem podstawowych parametrów użytkowych obrazy satelitarne powoli, aczkolwiek

systematycznie i dość skutecznie znajdują sobie właściwe miejsce na rynku zastosowań. (Kurczyński *et al.*, 2002, 2005). Ortofotomapa cyfrowa, utworzona na podstawie obrazów satelitarnych, a będąca źródłem bogatej i aktualnej informacji o terenie, może stanowić cenny składnik systemu informacji przestrzennej (Kaczyński *et al.*, 1995). Odpowiednio zaś skonstruowany i „zasilany” aktualnymi danymi SIP stanowi narzędzie wspierania różnego rodzaju procesów decyzyjnych. Staje się on wydajnym narzędziem zarządzania i wspomagania tych procesów, pozwalając na skuteczne ich zarządzanie i administrowanie (Kijowski *et al.*, 2005).

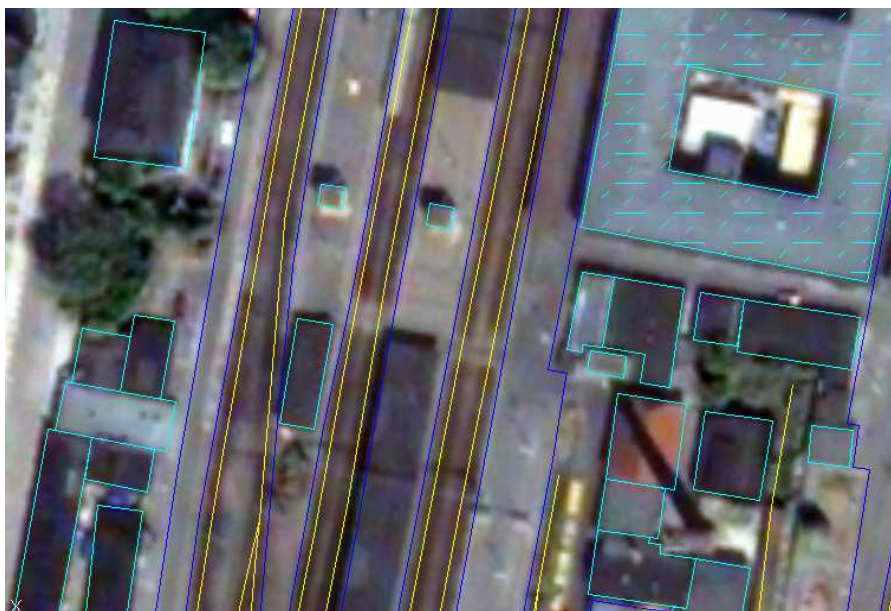
2. UTWORZENIE MAPY CYFROWEJ DLA OBIEKTÓW INFRASTRUKTURY KOLEJOWEJ

Podstawą utworzenia mapy cyfrowej dla obiektów infrastruktury kolejowej obszaru studialnego był podkład rastrowy w postaci ortofotomapy satelitarnej QuickBird, opracowanej w odwzorowaniu PUWG2000, obejmujący swoim zasięgiem stacje Poznań Główny i Poznań Garbary wraz z odcinkiem szlaku kolejowego między nimi. Na treść mapy składają się wyłącznie obiekty wskazane przez służby kolejowe podczas analiz systemowych, jako niezbędne dla celów kolejowego GIS. Obejmują one przebieg kolejowych szlaków komunikacyjnych wraz z ich kilometrażem, miejsca krzyżowania się linii z ważniejszymi węzłami komunikacji drogowej, mosty, tunele oraz wiadukty na linii, dworce kolejowe wraz z rozmieszczeniem budynków towarzyszących, a także perony dworcowe, łącznie z ich numeracją. Ponadto ważnymi elementami mapy cyfrowej są nastawnie, ładownie oraz szlakowe przejazdy kolejowe. Należy wspomnieć, że zgodnie z zaleceniami służb kolejowych tory szlakowe powinny być wektoryzowane w odcinkach kilometrowych, co pozwoli na ich późniejsze połączenie z danymi opisowymi, charakteryzującymi konkretny odcinek toru. Reprezentacja graficzna powyższych obiektów oraz precyzja ich usytuowania powinny odpowiadać standardom dokładnościowym map z przedziału skalowego 1:5 000÷1:10 000. W przypadku szlaków kolejowych dokładność usytuowania torowiska kolejowego mogłaby zostać zmniejszona do standardów map 1:25 000 (Kuszewski, 2005). Z uwagi na brak przejazdu kolejowego w obrębie opracowywanym, autor umieścił na mapie symbol przejazdu kategorii A, aby zaprezentować, w jaki sposób będą one charakteryzowane.

Zasadnicze prace związane z opracowaniem kameralnym polegały po pierwsze na właściwej ocenie, interpretacji i identyfikacji wizualnej określonego szczegółu sytuacyjnego na podkładzie rastrowym, a po drugie na jego poprawnej wektoryzacji manualnej. Stwierdzono, że najbardziej czytelną postać mają elementy torowe na szlaku kolejowym oraz elementy infrastruktury dworca, czyli zabudowa dworcowa. Również wyraźne są perony dworcowe oraz budynki, takie jak nastawnie, ładownie i magazyny (rys. 1). W przypadku peronów niezbędna okazała się jednak interpretacja terenowa, z uwagi na to, iż na stacji Poznań Główny perony nie są zdefiniowane jednoznacznie, i tak na przykład peron 4 rozgałęzia się w pewnych miejscach na perony 4a oraz 4b.

W związku z tym, iż poznański węzeł kolejowy jest jednym z największych w kraju i zawiera bardzo dużo zarówno torowisk, jak i elementów zabudowy, bardzo ważnym etapem prac, związanym z tworzeniem graficznego obrazu obszaru testowego, okazał się wywiad terenowy. Pozwolił on wyeliminować błędy powstałe na etapie prac kameralnych,

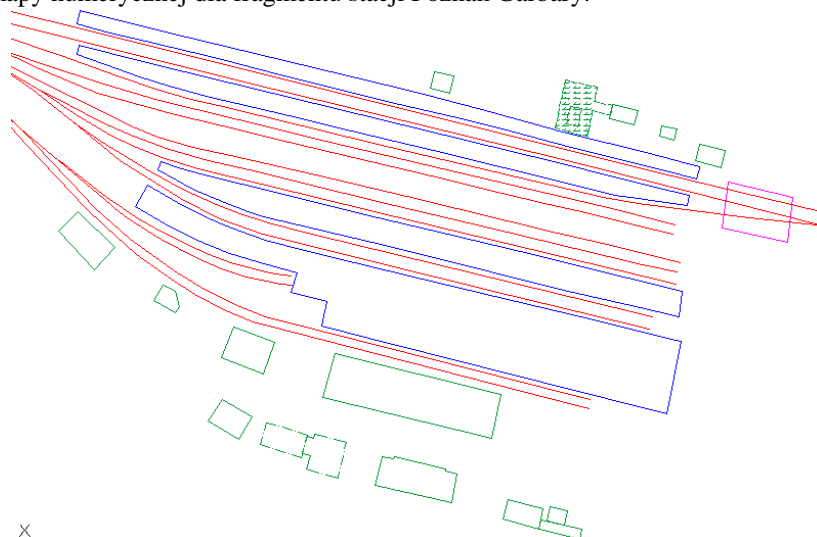
związane z błędną identyfikacją lub interpretacją obiektów infrastruktury kolejowej, a także niewłaściwą lub nieprecyzyjną ich wektoryzacją. Znacznym problemem podczas tworzenia mapy numerycznej okazały się rozjazdy kolejowe oraz elementy szlakowe pod mostami. Pierwsze z nich nie dają się wyodrębnić z podkładu rastrowego w sposób jednoznaczny, natomiast drugie z oczywistych przyczyn są niewidoczne. Z uwagi na brak możliwości wejścia na teren torowiska kolejowego, autor zdecydował, że rozjazdy kolejowe oraz elementy torowe pod obiektami mostowymi zostaną wrysowane na mapę przede wszystkim na podstawie interpretacji terenowej. Określenie położenia tych szczegółów nastąpiło przede wszystkim na podstawie oceny ich usytuowania względem innych obiektów widocznych na obrazie rastrowym. Wobec powyższego obiekty te mogą być obarczone błędem większym niż zakładano. Uznano bowiem, iż lepszym wyjściem jest wniesienie tych elementów z mniejszą dokładnością, niż ich pozostawienie bez opracowania. W tym miejscu nasunął się ważny wniosek, który mówi, że w przyszłości elementy te muszą zostać pomierzone innymi metodami, głównie poprzez bezpośredni pomiar terenowy.



Rys. 1. Fragment wektoryzowanej ortofotomapy satelitarnej QuickBird

Dalsza analiza utworzonej mapy w terenie dowiodła, że łączna ilość błędnie zidentyfikowanych obiektów nie przekraczała kilku procent. Największą liczbę nieprecyzyjnie zlokalizowanych elementów stanowiły tory szlakowe oraz stacyjne w obrębie dworca kolejowego Poznań Główny. W kilku miejscach należało poprawić ich przebieg oraz wrysować brakujące tory stacyjne. W przypadku zabudowy dworcowej zmiana definicji polegała na tym, iż obiekty zdefiniowane początkowo w postaci jednej bryły, w efekcie okazały się grupą oddzielnych budynków. Interpretacja terenowa pozwoliła ponadto uzupełnić mapę o trzy brakujące elementy dworcowe, które nie zostały naniesione ze względu na ich słabą widoczność na obrazie. Oprócz tego udało się usunąć kilka błędów, których pojawienie się było spowodowane wyłącznie złą interpretacją

obrazu, jak na przykład fragment peronu odstawczego na stacji Poznań Garbary, który w pierwszej postaci miał za dużą powierzchnię. W związku z tym, iż posiadany obraz satelitarny jest sprzed trzech lat, w dwóch przypadkach sytuacja w terenie uległa istotnym zmianom, jak na przykład wyburzenie budynków na stacji Poznań Garbary oraz rozbiórka jednego z torów stacyjnych na stacji Poznań Główny. Na rysunku 2 przedstawiono ogólny widok mapy numerycznej dla fragmentu stacji Poznań Garbary.



Rys. 2. Fragment wygenerowanej mapy numerycznej dla stacji Poznań Garbary

Ogólna suma wykrytych błędów nie jest duża, pozwalając tym samym na konkluzję, iż wektoryzacja wysokorozdzielczego obrazu satelitarnego może stanowić duży wkład w pracach związanych z tworzeniem kolejowych systemów informacji geograficznej. Na tą chwilę jest to najszybsza i powodująca najmniej błędów metoda. Z uwagi na fakt, iż kolejowe jednostki organizacyjne nie są jak do tej pory zdecydowane, co do formy prezentacji graficznej poszczególnych obiektów kolejowych, autor sam zdecydował o formie i sposobie ich przedstawienia. Na uwagę zasługują obiekty inżynierskie, które zostały przedstawione w postaci brył zamkniętych, natomiast przejazdy kolejowe oznaczone są literą, umieszczoną w środku geometrycznym przejazdu kolejowego. Spełniony jest tym samym wymóg, by symbol przejazdu oznaczał jednocześnie jego kategorię.

3. BADANIE DOKŁADNOŚCI POŁOŻENIA OBIEKTÓW INFRASTRUKTURY KOLEJOWEJ

3.1. Badanie dokładności wektoryzacji ortofotomapy satelitarnej

Wytyczne Techniczne K-1.3 określają, iż w celu sprawdzenia dokładności opracowania pierworysu mapy zasadniczej z pomiarów bezpośrednich, należy poddać kontroli min. 5 % arkuszy na obiekcie, określając na każdym z nich współrzędne dla min. 20 dobrze identyfikowalnych i równomiernie rozmieszczonych szczegółów

sytuacyjnych I klasy (Wytyczne Techniczne K-1.3, 1981). Dla tak wybranych punktów należy przeprowadzić analizę dokładności. Z uwagi na to, iż opracowywana mapa będzie porównywana z mapą dla standardu 1:500, wrysowano przykładowy podział sekcyjny dla tej skali opracowań. Badany obiekt zajmuje obszar 17-tu arkuszy, z czego do kontroli wybrano 4 arkusze, o największej ilości obiektów. Większa od wymaganej ilość arkuszy kontrolnych podyktowana była chęcią uzyskania dokładnych i wiarygodnych wyników analiz dokładnościowych. Warto nadmienić, iż arkusze kontrolne leżą na obszarze stacji kolejowych, gdzie nagromadzenie obiektów jest największe.

W celu oceny dokładności wektoryzacji manualnej obiektów infrastruktury kolejowej, a w dalszym etapie wyznaczenia dokładności położenia sytuacyjnego tych obiektów, posłużono się metodami prezentowanymi w pracach dotyczących badania dokładności ortofotomap cyfrowych oraz map numerycznych (Dokoczek, 2003; Dąbrowski *et al.*, 1998, 1999, 2005; Latoś *et al.*, 1998). W ramach pierwszego zadania dwukrotnie zwektoryzowano dobrze identyfikowalne szczegóły sytuacyjne w obrębie poszczególnych kategorii obiektów. Traktując różnice dwukrotnie wyznaczonych współrzędnych punktów jako błędy prawdziwe, zgodnie z teorią par spostrzeżeń, oszacowano dokładność przeprowadzonej wektoryzacji za pomocą wzoru (1):

$$m_w = \sqrt{\frac{[\Delta W]^2}{2 * N}} \quad (1)$$

gdzie:

$$\Delta W = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (2)$$

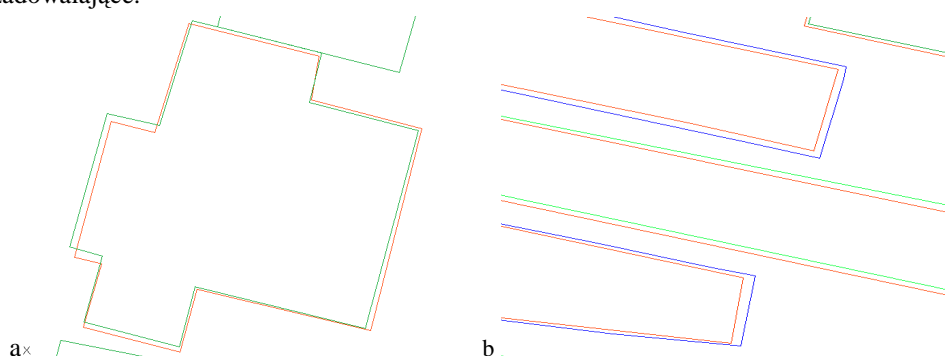
oznacza długość wektora utworzonego ze współrzędnych punktu po dwukrotnej wektoryzacji, a N jest liczbą zwektoryzowanych szczegółów sytuacyjnych. Uzyskano łącznie zbiór 353 par współrzędnych punktów kontrolnych. Tabela 1 prezentuje ich rozkład w obrębie poszczególnych kategorii obiektów oraz uzyskane wyniki dokładnościowe. Rysunek 3 natomiast pokazuje przykładową rozbieżność graficznej prezentacji obiektów na podstawie dwukrotnej ich wektoryzacji. Należy jeszcze raz podkreślić, iż o wyborze konkretnych szczegółów decydowała ich dobra widoczność oraz możliwość identyfikacji na obrazie rastrowym.

Tabela 1. Dokładność wektoryzacji badanych obiektów

Kategoria obiektu	Budynek	Peron	Szlak kolejowy	Obiekt inżynierski
Ilość punktów kontrolnych	175	71	75	32
Dokładność wektoryzacji w [m]	0.25	0.54	0.24	1.07

Analizując uzyskane wyniki warto zwrócić uwagę na bardzo wysoką dokładność wektoryzacji budynków oraz szlaków kolejowych. Są to obiekty bardzo jednoznacznie odwzorowane na obrazie, przez co uzyskuje się dużą efektywność ich późniejszej prezentacji na mapie. W obydwu przypadkach uzyskane wartości nie przekraczają 0.5 piksela, który w przypadku omawianej ortofotomapy ma wymiar 0.61 m. Wartość ta odpowiada zakładanej dokładności określania położenia szczegółów sytuacyjnych na obrazach rastrowych. W odniesieniu do peronów dokładność opracowania jest nadal podpikselowa, chociaż wynik 0.54 świadczy o mniejszej zdolności ich identyfikacji.

Uzyskany wynik jest zakłócony głównie poprzez wektory przesunięć na krańcach peronów, które w sześciu rozpatrywanych przypadkach wynoszą ponad 1.5 m. Dowodzi to braku możliwości jednoznacznego zdefiniowania końca peronu. Wyłączając z opracowania powyższe wyniki, dokładność wektoryzacji wzrasta do 0.37 m, dając tym samym dużo lepszy rezultat. W przypadku wiaduktów przeprowadzona kontrola wykazała, że określenie ich dokładnego położenia na obrazie nie jest możliwe, z uwagi na różną w każdym przypadku interpretację i identyfikację. Błędy powstałe podczas dwukrotnej wektoryzacji spowodowane są w znacznej mierze niejednakowym określeniem zasięgu podłużnego danego mostu lub wiaduktu. Jednak z uwagi na to, iż obiekty inżynierskie na utworzonej mapie mają być przedstawione w postaci umownej, uzyskane wyniki są w pełni zadowalające.



Rys. 3. Obiekty podlegające kontroli, np. (a) budynek, (b) perony i szlak kolejowy

Ze względu na wymagania stawiane kolejowemu systemowi informacji geograficznej, kolejnym przedmiotem analiz jest określenie dokładności wyznaczenia powierzchni budynków oraz peronów, warunkujące w znacznym stopniu jakość i przydatność utworzonej mapy. Przedmiotem badań było 31 budynków oraz 7 peronów. W pierwszym etapie określono powierzchnie analizowanych obiektów, będące wynikiem pierwszej oraz drugiej wektoryzacji. Następnie obliczono różnice powierzchni z obu wyznaczeń i przedstawiono procentowy udział tej różnicy w ogólnej powierzchni danego obiektu. Oczywiście, powierzchnia uzyskana z obydwu wektoryzacji dla każdego obiektu została uśredniona. W poniższej tabeli przedstawiono uzyskane rezultaty, świadczące o dużej dokładności reprezentacji graficznej tak budynków, jak i peronów dworcowych. Należy w tym miejscu nadmienić, iż wartości skrajne uzyskano dla budynków i peronów o najmniejszej powierzchni. Warto zwrócić uwagę na fakt, że średnia różnica powierzchni z pierwszej i drugiej wektoryzacji wynosi niewiele powyżej 3.5 % dla budynków i 2.5 % dla peronów, co jest wynikiem bardzo dobrym, zważywszy na skalę opracowania i przeznaczenie tworzonego kolejowego systemu informacji geograficznej.

Tabela 2. Wartości różnic powierzchni wyrażone w procentach

Kategoria obiektu	Budynek	Peron
Minimalna wartość różnicy powierzchni	0.37	0.54
Maksymalna wartość różnicy powierzchni	9.68	8.92
Średnia wartość różnicy powierzchni	<u>3.60</u>	<u>2.55</u>

W końcowym etapie badań obliczono średnią dokładność wektoryzacji dla wszystkich badanych obiektów infrastruktury kolejowej stanowiących treść mapy numerycznej. Przyjmuje się, że dokładność określenia szczegółu sytuacyjnego na obrazie rastrowym jest w przybliżeniu równa 0.5 piksela. Z uwagi na dość duże błędy powstałe przy wyznaczaniu granic obiektów mostowych, uzyskana dokładność wektoryzacji jest nieco niższa od pożądanej i wynosi dla 353 punktów kontrolnych 0.45 m. W przypadku wyłączenia obiektów inżynierskich z obliczeń, dla 321 szczegółów sytuacyjnych średnia dokładność wektoryzacji wzrosła, przyjmując wartość 0.34 m. Odnosząc się do uzyskanych wyników należy stwierdzić, iż tym razem rezultat ten mieści się w dopuszczalnych granicach. Nie można zapomnieć o tym, że uzyskane efekty są również wynikiem bardzo dobrej jakości obrazu, który umożliwia zarówno prawidłową identyfikację obiektów, ich interpretację, jak i poprawną wektoryzację.

3.2. Badanie zgodności sytuacyjnej obiektów infrastruktury kolejowej

Drugi etap badań miał na celu określenie sytuacyjnego błędu położenia obiektów infrastruktury kolejowej w odniesieniu do mapy numerycznej opracowanej dla standardu skali 1:500. W tym celu posłużono się fragmentem mapy numerycznej udostępnionej z zasobu kolejowego. Z uwagi jednak na to, iż mapa ta obejmuje jedynie mały fragment badanego obszaru, a tym samym niewielką liczbę obiektów, analizie poddano tylko te szczegóły, które znajdują się na jednej i na drugiej mapie. Ogólna ich liczba jest mniejsza niż w przypadku badania dokładności wektoryzacji obrazu rastrowego i obejmuje zbiór 239 par współrzędnych punktów sytuacyjnych. Niemniej zachowane zostały wytyczne dotyczące ilości punktów kontrolnych, zawarte w instrukcji K.1-3. Dla rozpatrywanych czterech arkuszy mapy, średnia ich ilość wyniosła ponad 53 punkty na arkusz. Dodatkowo przebadano dokładność usytuowania rozjazdów kolejowych, wrysowanych na mapę na podstawie interpretacji terenowej. Przebieg badań miał bardzo podobny charakter, z tym, że tym razem formuła użyta do oceny tej dokładności ma następującą postać (3):

$$m_s = \sqrt{\frac{[\Delta W]^2}{N}} \quad (3)$$

gdzie:

$$\Delta W = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (4)$$

oznacza długość wektora utworzonego ze współrzędnych punktu na mapie badanej oraz na mapie wzorcowej, a N oznacza ilość szczegółów sytuacyjnych, przyjętych do kontroli.

Tabela 3 przedstawia ilości punktów kontrolnych w obrębie poszczególnych kategorii szczegółów oraz uzyskane błędy sytuacyjne, bez uwzględnienia innych czynników wpływających na dokładność opracowania, takich jak błędy wektoryzacji oraz błędy położenia punktów wzorcowych.

Tabela 3. Błędy sytuacyjne poszczególnych kategorii obiektów

Kategoria obiektu	Budynek	Peron	Szlak kolejowy	Obiekt inżynierski	Rozjazd
Ilość punktów kontrolnych	112	24	75	28	44
Błędy sytuacyjne w [m]	<u>0.72</u>	<u>1.67</u>	<u>0.70</u>	<u>2.52</u>	<u>4.25</u>

Ciekawy wniosek, jaki nasuwa się podczas analizy rezultatów mówi, iż co prawda uzyskane wartości błędów położenia rozjazdów kolejowych są duże, to jednak mieszczą się one w dopuszczalnych granicach, pozwalających na zwiększenie błędu usytuowania wyżej wymienionych elementów do skali 1:25 000. Jak już wspomniano, bez względu na zakładane parametry dokładnościowe, autor proponuje, by w przyszłości elementy te zostały pomierzone innymi metodami geodezyjnymi, w głównej mierze sposobami bezpośrednimi. Pozostałe błędy przyjmują wartości na poziomie nieznacznie przekraczającym wielkość piksela. Z uwagi na niejednoznaczność identyfikację końców peronów dworcowych dokładność wektoryzacji tej grupy obiektów jest mniejsza, jednakże mieszcząca się w dopuszczalnych granicach błędów dla skal 1:5 000÷1:10 000.

W kolejnym kroku, analogicznie jak dla przypadku pierwszego, przebadano dwie grupy obiektów o charakterze powierzchniowym i określono różnice powierzchni pomiędzy mapą ocenianą a mapą kolejową 1:500. Tabela 4 przedstawia uzyskane wartości różnic wyrażone w procentach. Podobnie jak w poprzednim przypadku nie uwzględniano obiektów inżynierskich, z uwagi na odmienny charakter, jaki pełnią w tworzonym systemie. Poza tym ta grupa obiektów nie stanowi majątku kolejowego, będącego podstawowym przedmiotem kolejowego GIS. Podobnie jak w pierwszym przypadku, największe różnice procentowe uzyskiwano dla obiektów o najmniejszej powierzchni. Dla przykładu wartość skrajną 19.68 % uzyskano dla budynku o powierzchni 22.17 m². Jednak uzyskane średnie wartości niezgodności powierzchni na poziomie 6÷7 % są w pełni zadowalające.

Tabela 4. Wartości różnic powierzchni obiektów wyrażone w procentach

Kategoria obiektu	Budynek	Peron
Minimalna wartość różnicy powierzchni	0.06	3.71
Maksymalna wartość różnicy powierzchni	19.68	9.40
Średnia wartość różnicy powierzchni	<u>7.37</u>	<u>5.89</u>

Pewnym zaskoczeniem jest większa dokładność wyznaczenia powierzchni peronów niż powierzchni budynków, pomimo mniejszej precyzji określenia ich usytuowania. Jest to spowodowane tym, iż powierzchnie, jakie zajmują perony obejmują swoim zasięgiem obszary przekraczające 1 500 m² i dochodzące nawet do 5 000 m².

W dalszym etapie badań obliczono dokładność sytuacyjną w odniesieniu do wszystkich badanych obiektów infrastruktury kolejowej, stanowiących treść utworzonej mapy. Dla 239 punktów kontrolnych średni błąd położenia szczegółu sytuacyjnego wyniósł wartość 1.19 m, natomiast bez uwzględniania w obliczeniach błędów wyznaczenia obiektów inżynierskich jego wartość maleje do poziomu 0.87 m. Warto podać, iż przy rozszerzeniu analiz o kategorię obiektów "rozjazdy", błąd położenia przyjmuje wartość na poziomie 2.0 m. Wynik ten pokazuje jak bardzo błąd określenia położenia rozjazdu wpływa na ogólną zgodność sytuacyjną pozostałych obiektów infrastruktury kolejowej.

3.3. Ocena dokładności położenia obiektów infrastruktury kolejowej na utworzonej mapie cyfrowej

Ostatni etap przeprowadzanych badań polegał na wyznaczeniu średniego błędu położenia punktu sytuacyjnego na mapie cyfrowej, z uwzględnieniem wpływu błędu wektoryzacji punktu (m_1), błędu sytuacyjnego położenia punktu (m_2) oraz błędu położenia punktu na mapie kolejowej 1:500 (m_3). Mapa ta została utworzona na podstawie pomiarów bezpośrednich, w oparciu o osnowę pomiarową nawiązaną do osnowy szczegółowej III klasy. Brak jest jednak dokumentacji, która opisywałaby i charakteryzowałaby jej parametry dokładnościowe. W związku z tym, na podstawie badań (Dąbrowski *et al.*, 1998) dotyczących dokładności położenia szczegółów sytuacyjnych przedstawionych na mapach numerycznych wykonanych z pomiarów bezpośrednich, błąd m_3 został przyjęty na poziomie 0.044m. Błędy m_1 oraz m_2 zostały wyznaczone na podstawie wyników przeprowadzonych analiz i wynoszą odpowiednio 0.45 m oraz 1.19 m, a w przypadku nieuwzględniania w badaniach obiektów inżynierskich 0.34 m oraz 0.87 m. Końcowy, łączny błąd obliczono z następującej zależności (5):

$$m_p^2 = m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 \quad (5)$$

gdzie m_p oznacza błąd położenia punktu sytuacyjnego, pozyskanego metodą wektoryzacji ortofotomapy satelitarnej. Uwzględniając w obliczeniach obiekty mostowe, przyjął on dla utworzonej mapy numerycznej wartość 1.27 m, oraz odpowiednio bez ich włączenia do obliczeń wartość 0.93 m. Jeden i drugi wynik należy uznać za w pełni zadowalający, spełniający stawiane wymagania.

Reprezentacja graficzna oraz precyzja usytuowania obiektów infrastruktury kolejowej ma odpowiadać standardom dokładnościowym map z przedziału 1:5 000÷1:10 000. W przypadku szlaków kolejowych dokładność usytuowania torowiska kolejowego może zostać zmniejszona dla standardów map 1:25 000. W nawiązaniu do wymogów Wytucznych Technicznych K-1.2 określających dopuszczalny błąd położenia punktu na mapie analogowej (tożsamej z wyplotowaną prezentacją graficzną mapy numerycznej), błąd ten powinien mieścić się w przedziale 1.5÷3.0 m. W odniesieniu do szlaków kolejowych wartość ta może wzrosnąć maksymalnie do 7.5 m.

Przystępując do podsumowania przeprowadzonych analiz dokładnościowych należy stwierdzić wysoką skuteczność i dokładność pozyskiwania danych graficznych z obrazu satelitarnego do budowy kolejowego GIS. Wykonane badania wykazały dużą dokładność położenia punktów sytuacyjnych wyznaczonych na rastrowym obrazie ortofotomapy, opracowanej w skali około 1:7 000. W przypadku zbadanych szczegółów błąd położenia punktu wyniósł 1.27 m (0.93 m). Zwektoryzowane współrzędne na rastrowym podkładzie ortofotomapy, przynajmniej w odniesieniu do analizowanych punktów, zapewniają dokładność opracowania sytuacyjnego map nawet dla skali wyższej niż 1:5 000. W związku z tym uzyskane błędy przewyższają zakładane parametry wyjściowe, spełniając tym samym wymagania w stosunku do dokładności prezentacji graficznej obiektów infrastruktury kolejowej.

4. ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW W KONTEKŚCIE STAWIANYCH WYMAGAŃ

Głównym celem niniejszego opracowania było po pierwsze udzielenie odpowiedzi na pytanie: „w jakim stopniu wysokorozdzielczy obraz satelitarny może zostać wykorzystany do budowy przestrzennej części geograficznego kolejowego systemu informacyjnego”, a po drugie przetestowanie zaproponowanej metodyki budowy składnika graficznego systemu na fragmencie poznańskiego węzła kolejowego, jako na przykładzie studialnym. Celem nadrzędnym było utworzenie wektorowej mapy cyfrowej dla obszaru studialnego odcinka Poznań Główny - Poznań Garbary, która ma spełnić stawiane wymagania dokładnościowe. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują jednoznacznie, iż ortofotomapa satelitarna utworzona z obrazu QuickBird pozwala na pozyskiwanie danych do zasilenia przestrzennej części kolejowego GIS. Co więcej, dane te w zakresie dobrze identyfikowalnych szczegółów sytuacyjnych wyraźnie przewyższają zakładane wyjściowe parametry dokładnościowe. Obraz pozwala na szybkie i skuteczne utworzenie mapy wektorowej w obrębie zarówno torowisk kolejowych, jak i samych dworców. Ciekawym wnioskiem jest to, iż w przypadku niektórych elementów infrastruktury, jak na przykład rozjazdów kolejowych oraz obiektów pod mostami, konieczne jest uzupełnienie posiadanych danych za pomocą innych technik geodezyjnych, w tym metod bezpośrednich. Ponadto skupiska linii torowisk w obrębie stacji i ich nagromadzenie mocno utrudnia właściwą ich ocenę, identyfikację i wektoryzację.

Wyniki analiz dokładnościowych potwierdzają wysoką skuteczność i dokładność zobrazowań wysokorozdzielczych w zakresie tworzenia map o dokładnościach odpowiadającym skalom 1:5 000÷1:10 000, umożliwiając tym samym szerokie spektrum zastosowań (Wolniewicz, 2005). Ilość błędów, zważywszy na strukturę opracowywanego terenu i jego złożoność jest niewielka i w łatwy sposób daje się wyeliminować.

Podsumowując podjęte prace studialne i praktyczne można stwierdzić, że zaproponowana metoda wektoryzacji manualnej jest właściwym kierunkiem zasilania systemów kolejowych typu GIS. Uzyskane wyniki są wystarczająco dokładne, niemniej jednak należy zdać sobie sprawę z tego, iż zaproponowane podejście nie zapewnia w pełni skutecznej realizacji przedsięwzięcia. Potwierdzają to przeprowadzone prace polowe, polegające na weryfikacji utworzonej mapy i ucytelnieniu obrazu. Warto jest jednak wspomnieć o tym, iż przebieg tras kolejowych na odcinkach między stacjami i w obrębie małych stacji nie jest skomplikowany, dając tym samym możliwość utworzenia mapy numerycznej praktycznie pozbawionej błędów.

Przedstawiona wyżej metodyka tworzenia wektorowej mapy dla celów zasilenia kolejowego systemu informacji geograficznej jest pierwszym tego typu przedsięwzięciem o charakterze naukowo-badawczym. Dalsze prace polegały będą na uzupełnieniu utworzonej już części geometrycznej o elementy bazy danych opisowych, charakteryzujących dany obiekt.

5. LITERATURA

- Dąbrowski W., Duskocz A., 2005. Ocena dokładności położenia szczegółów sytuacyjnych pozyskanych z map numerycznych. *Technical Science*, Supplement No 2, s. 309-320.
- Dąbrowski W., Dąbrowska D., Duskocz A., Lubarski J., 1999. Czy numerycznie znaczy dokładnie. *Geodeta*, Nr 4, <http://www.atomnet.pl/~geodeta/1999/47text2.htm>.
- Dąbrowski W., Dąbrowska D., Lewandowicz E., Wierciński T., 1998. Doświadczalne wyznaczenie dokładności mapy numerycznej z pomiarów bezpośrednich, VIII Konferencja Naukowo-Techniczna „Systemy informacji przestrzennej”, Warszawa, s. 99-102.
- DigitalGlobe, 2006: <http://www.digitalglobe.com>.
- Duskocz A., 2003. Ocena dokładności ortofotomapy cyfrowej. *Przegląd Geodezyjny*, Nr 4, s. 9-11.
- Kaczyński R., Dąbrowski S., 1995. Ortofotomapa cyfrowa i numeryczny model terenu dla zasilania Systemów Informacji Przestrzennej, V Konferencja Naukowo-Techniczna „Systemy informacji przestrzennej”, Warszawa, s. 311-315.
- Kijowski A., Mania W., 2005. Zastosowanie fotomapy do budowy systemu informacji przestrzennej małego miasta, IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Wiosna w Geodezji”, Poznań - Jeziory, mat. Konferencyjne.
- Kurczyński Z., Wolniewicz W., 2002. Piksel schodzi poniżej metra. *Geodeta*, Nr 7, <http://www.geoforum.pl/archiwum/2002/86text3.htm>.
- Kurczyński Z., Wolniewicz W., 2002. Co oznacza piksel poniżej metra? *Geodeta*, Nr 8, <http://www.geoforum.pl/archiwum/2002/87text2.htm>
- Kurczyński Z., Wolniewicz W., 2002. Korekcja geometryczna wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych. *Geodeta*, Nr 11, <http://www.geoforum.pl/archiwum/2002/90text1.htm>.
- Kurczyński Z., 2005. GIS potrzebuje danych. *Geodeta*, Nr 8, s. 30-34.
- Kurczyński Z., Wolniewicz W., 2005. Ocena przydatności obrazów satelitarnych o bardzo dużej rozdzielczości do tworzenia bazy danych topograficznych. *Przegląd Geodezyjny*, Nr 5, s. 3-11.
- Kuszewski R., 2005. „wdrozenie, utrzymanie i aktualizacja zintegrowanej przestrzennej bazy danych GIS dla całej infrastruktury kolejowej to przedsięwzięcie o olbrzymich rozmiarach – novum w skali kraju a może i Europy”. *Przegląd Geodezyjny*, Nr 10, s. 20-23.
- Latoś S., Maślanka J., 1998. Analiza dokładności map numerycznych i cyfrowych. *Zeszyt Naukowy Geodezja*, tom IV, zeszyt 2, Wydawnictwo AGH, Kraków, s. 163-177.
- PKP PLK S.A, 2005: <http://www.plk-sa.pl/00spolka/03.php>
<http://www.kolej.one.pl/linia.php?id=289&okno=przebieg&od=76&do=75>
http://kolejarz.lhs.pl/wstep_1.htm
- SpaceImaging, 2006: <http://www.spaceimaging.com/>.
- Wolniewicz W., 2005. Ocena potencjału geometrycznego zdjęć IKONOS i QuickBird. *Roczniki Geomatyki*, Tom III, Zeszyt 4, s. 219-230.
- Wytyczne techniczne K-1.3, 1981. Mapa zasadnicza. Opracowanie pierworysu z pomiarów bezpośrednich. Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Warszawa, s. 19-21.

Praca została wykonana w ramach grantu KBN nr 4T12E 016 26 realizowanego w latach 2004-2007.

RESEARCH OF MANUAL VECTORIZATION ACCURACY FOR RAIL INFRASTRUCTURE OBJECTS USING A SATELLITE ORTHOPHOTOMAP

KEY WORDS: rail GIS, vectorization of a raster image, numerical map, accuracy of location of situation details

Summary

The rapid development of satellite sources and technology, as well as the development of their numerical processing, integration and visualization, has led to an increase in photogrammetric and remote sensing data. These sources are useful for creating different databases and information systems, further expanding their use. One of the domains in which their use has had a major impact is the railway sector.

Current applications can only provide descriptive information about the objects of railway infrastructure. However, for a long time there has been a need to also provide to users access to information about the localization of these objects. Therefore, the direction indicated by Geographic Information Systems is undoubtedly the right one and most desired. An example of a surface in which their usage has direct application is the possibility of direct localization of the railway infrastructure objects, mainly railroad lines and station objects, as well as obtaining the descriptive information which characterize them.

The aim of this paper is to analyze the use of high resolution images for taking geographic data into account in the Railway Information System. This paper provides an analysis of the usefulness of the QuickBird satellite images from the point of view of the possibility to use them in creating a graphic part of the system. Some railway infrastructure objects for two railway stations (Poznan Glowny and Poznan Garbary) were manually vectorized, also including a part of the railroad route between them. The combined length of the test area was a total distance of 4 km. This paper presents an accuracy analysis of the vectorization and situation location of these objects. A high efficiency of assignment of the railroad infrastructure objects was obtained, for maps from a partition of 1:5 000÷1:10 000.

Mgr inż. Artur Plichta
e-mail: plichta@sol.put.poznan.pl
tel. +61 6652420