

**Lech Kujawa**  
**Wiesław Wolniewicz**

## **TERENOWA WERYFIKACJA KARTOMETRYCZNOŚCI PANCHROMATYCZNYCH ZDJĘĆ IRS 1C/1D**

### **Wstęp**

Ortofotomapa w postaci cyfrowej na naszych oczach staje się standardem dla wielu współczesnych opracowań geoinformatyki. SIP jest najlepszym przykładem. Coraz powszechniej sięgamy po cyfrowe ortofotomapy lotnicze bądź satelitarne. Kartometryczne wartości tych opracowań są bardzo często znane jedynie z raportów samego procesu korekcji ( na punktach dostosowania bądź punktach kontrolnych ). **A jak wygląda faktyczna kartometryczność tych opracowań ?** Wydaje się, iż jedynie niezależnymi metodami weryfikacji terenowej można dać odpowiedź na to pytanie.

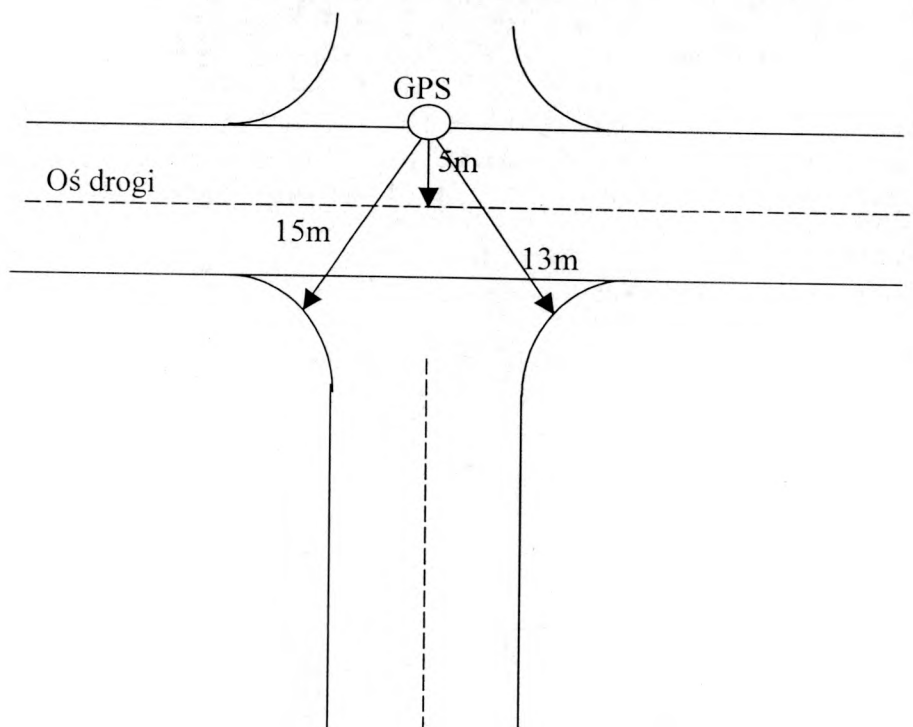
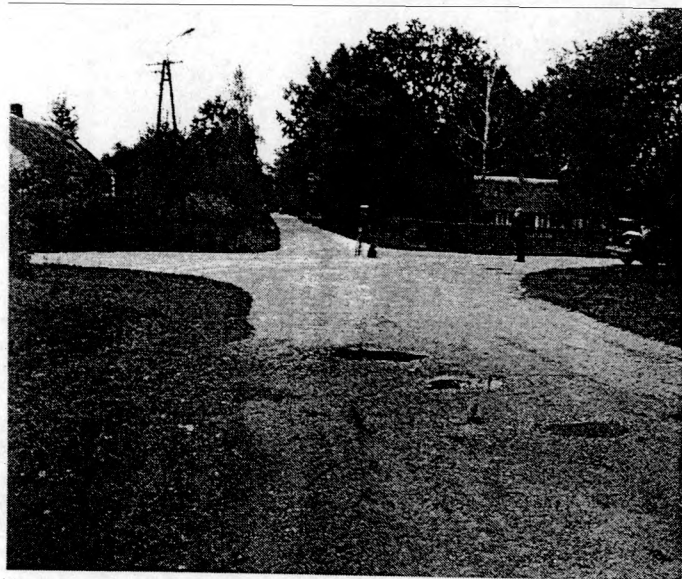
W poniższym opracowaniu zostanie zaprezentowany przykład takiej weryfikacji cyfrowej ortofotomapy z wykorzystaniem pomiarów GPS. Przebadano trzy fragmenty arkuszy ortofotomapy uzyskane z panchromatycznych zdjęć satelitarnych IRS o wielkości terenowej piksela 5.8 m., które zostały zakupione dla całego obszaru Województwa Mazowieckiego. Badana ortofotomapa opracowana została przez GeoSystems Polska przy pomocy oprogramowania ERDAS.

### **1. Terenowa weryfikacja kartometryczności ortofotomap.**

W celu praktycznej weryfikacji cech kartometrycznych ortofotomapy uzyskanych po procesie standartowych eliminacji zniekształceń, wykonano pomiar wybranej grupy punktów (fotopunktów) przy pomocy GPS i wyznaczono faktyczne zniekształcenia.

#### **1.1 Wybór i pomiar fotopunktów.**

Wyboru punktów przewidzianych do bezpośredniego pomiaru w terenie dokonano na podstawie analizy komputerowego obrazu ortofotomapy. Wybrano punkty bardzo dobrze widoczne na wymienionej ortofotomapie jak i równocześnie jednoznacznie identyfikowalne w terenie. Na ogół były to przecięcia dróg (piaszczystych lub żwirowych) dających ostry kontrast z otoczeniem. W przypadkach dróg o małym natężeniu ruchu, jako punkt pomiarowy przyjęto środek skrzyżowania. Tam gdzie ruch pojazdów był intensywny przyjęto przecięcie się osi drogi o mniejszym natężeniu ruchu i linii bocznej drugiej z dróg. Punkt pomiarowy dokumentowano szkicem połowym oraz zdjęciami fotograficznymi uwidaczniającymi sytuację terenową i równocześnie stanowisko pomiarowe GPS ( Rys 1 ).



Rys. 1. Przykład terenowego szkicu pomiarów stacji GPS

W celu wyznaczenia współrzędnych fotopunktów wykonano pomiary satelitarne techniką GPS. Zgodnie z zamierzeniem pomiar wykonano na trzech fragmentach (20x20 km) ortofotomapy województwa mazowieckiego w rejonach:

- Warszawa - Zachód - 16 punktów - pomierzono w dn. 14.09.2001;
- Mińsk Mazowiecki - 14 punktów - pomierzono w dn. 19.09.2001;
- Wyszaków; - 19 punktów - pomierzono w dn. 20.09.2001.

## 1.2 Informacja o wykorzystanym sprzęcie GPS.

W pomiarze współrzędnych punktów terenowych wykorzystano odbiornik satelitarny dwuczęstotliwościowy Trimble 4700 z anteną Micro-centered. Wykorzystane do opracowania wyników obserwacje wykonane na punktach referencyjnych polskiej sieci stacji permanentnych IGS/EUREF w Józefosławiu i Borowej Górze gromadzone były odpowiednio przez odbiorniki:

- JOZE - Trimble 4000SSi Corse Station z anteną Dorne Margolin Trimble;
- BOGO - Ashtech Z-12 z anteną Dorne Margolin Ashtech.

## 1.3 Kryteria pomiaru satelitarnego techniką GPS

Dane ze stacji permanentnych charakteryzują się następującymi kryteriami:

- czas próbkowania sygnału 1 sec.
- Minimalna wysokość satelity nad horyzontem 0°
- Zbiory danych gromadzone w interwałach jednogodzinnych.

Na punktach wyznaczanych (terenowych) przyjęto następujące kryteria:

- stosowana technika pomiaru satelitarnego GPS – FastStatic™ z kryterium czasu obserwacji na punkcie uzależnionym od liczby satelitów.
- minimalna liczba SVS nad horyzontem 5;
- minimalna wysokość obserwowanych SVS 10°;
- czas próbkowania sygnału 10 sec.
- wysokości anteny odniesiono do centrum fazowego anteny. (wysokości anten posłużyły do zredukowania wyznaczonej wysokości do powierzchni gruntu)

## 1.4 Opracowanie wyników.

Po wykonaniu każdej z dobowych części pomiarów satelitarnych GPS wykonywane było gromadzenie i archiwizacja danych satelitarnych. Dane z odbiornika pracującego w terenie były transmitowane do komputera programem Trimble Gpload. Dane ze stacji permanentnych pobierane były z baz danych. Dla stacji JOZE wykorzystano oryginalne dane jednosekundowe w formacie Trimble RAW czasowo archiwizowane w Regionalnym Centrum Analiz EUREF w Politechnice Warszawskiej. Dla stacji BOGO dane w formacie wymiany danych RINEX pobierano z Europejskiego Subcentrum Danych Satelitarnych GPS w GFZ Frankfurt.

W opracowaniu obserwacji satelitarnych GPS posłużono się programem GPSurvey v. 2.35. W jednoczesnym procesie wyznaczania elementów cięciw

satelitarnych wykorzystano zbiory obserwacyjne pochodzące zarówno ze stacji odniesienia jak i odbiornika polowego. Wyznaczano wszystkie kombinacje liniowe synchronicznych obserwacji satelitarnych.

Wymienione wyżej kryteria spełniły wszystkie obserwacje. Średnie błędy po wyrównaniu nie przekroczyły we współrzędnych geodezyjnych B i L 1 cm, a we współrzędnej H 2 cm. W procesie wyrównania nie stosowano jakiegokolwiek wagowania, gdyż nie miałyby to wpływu na wyniki końcowe opracowania współrzędnych. Zastosowanie wagowania, przy niemalże identycznych charakterystykach dokładnościowych wektorów z  $m_0 \approx 1.0$  nie wpłynęłoby również na oceny statystyczne opracowania.

Opracowanie obserwacji GPS wykonano w odniesieniu do układu WGS84 (ITRF2000). Współrzędne punktów nawiązania: JOZE i BOGO przyjęto zgodnie z układem EUREF'89 ep.0.0.

### 1.5 Dostosowanie wyznaczonych współrzędnych do układu fotomapy.

Fotomapa została opracowana, w swym założeniu, w odniesieniu do elipsoidy geocentrycznej WGS84 w odwzorowaniu Equirectangular.

## 2.0 Pomiar zniekształceń

Dla każdego punktu gdzie wykonywano pomiar w terenie został sporządzony szkic pomiaru z dokładną lokalizacją odbiornika GPS. ( Rys 1 ) Pomiaru te zostały przetworzone w układ WGS84, odwzorowanie Equirectangular, tworząc zbiór współrzędnych, zawierający kolejny numer i wartości X i Y każdego punktu.

- Współrzędne X i Y (w formacie ASCII), uzyskane na drodze pomiarów GPS, został następnie:
  - wyeksportowany do środowiska Arc/Info,
  - przetworzony w warstwę punktowa (GPS-IRS),
  - wprowadzony do zbudowanej uprzednio tablicy INFO.
- W sesji Arc/Edyt, zlokalizowano na cyfrowym zdjęciu IRS położenie mierzonego punktu w terenie (korzystając z pomocą szkicu terenowego i dokumentacji fotograficznej dla danego punktu). W wyniku tej operacji stworzono nową warstwę punktową z tą samą zbudowano uprzednio strukturą tablicy INFO.
- W tym celu stworzono oprogramowanie na poziomie języka AML, które pozwoliło:
  - pomierzyć różnice pomiędzy „prawdziwymi” wartościami z pomiarów GPS i ich odpowiednikami na zdjęciu IRS,
  - wykonać graficzny rozkład błędów.

Tabela nr 1

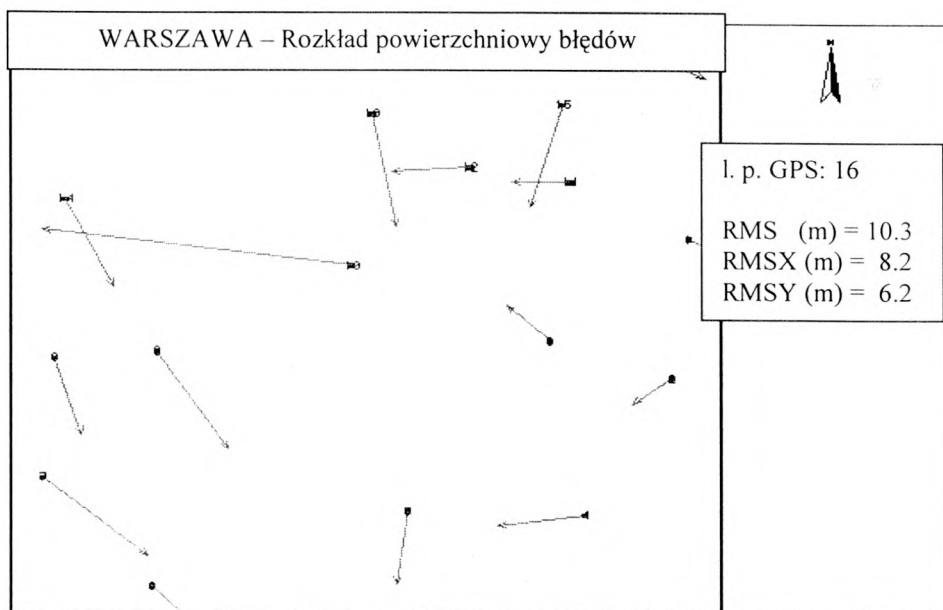
Porównanie współrzędnych pomierzonych w terenie (GPS)  
i ortofotomapie (Warszawa)

Nr.p-tu	Pomiar GPS		Pomiar IRS		$\Delta X$   [m]	$\Delta Y$   [m]	Przesunię- cie [m]
	XGPS [m]	YGPS [m]	XIRS [m]	YIRS [m]			
1	1423326.8	5801462.5	1423321.1	5801465.0	5.7	3.0	6.4
2	1422856.3	5796940.0	1422859.7	5796942.5	3.3	2.5	4.2
3	1419346.5	5798142.0	1419350.2	5798138.5	3.7	3.5	5.1
4	1420350.6	5792487.5	1420358.1	5792488.0	7.5	1.0	7.5
5	1415251.5	5792595.0	1415252.5	5792602.0	1.0	7.0	7.0
6	1407903.1	5790186.5	1407898.5	5790191.0	4.6	4.5	6.4
7	1404835.5	5793696.5	1404826.6	5793704.0	8.8	7.5	11.6
8	1405167.5	5797601.5	1405165.2	5797609.0	2.2	7.5	7.8
9	1408056.1	5797821.0	1408050.0	5797830.5	6.1	9.5	11.3
10	1413654.6	5800599.5	1413681.0	5800596.0	26.3	3.5	26.6
11	1419944.8	5803319.0	1419949.8	5803319.0	5.0	0	5.0
12	1417042.6	5803792.5	1417049.3	5803793.0	6.7	0.5	6.7
13	1414257.6	5805541.0	1414255.6	5805552.0	2.0	11.0	11.1
14	1405486.5	5802752.0	1405482.5	5802760.5	4.0	8.5	9.3
15	1419724.0	5805843.5	1419726.8	5805853.5	2.8	10.0	10.4
16	1422019.6	5807537.5	1422014.2	5807540.0	5.3	2.5	5.9

RMSE wynosi ( m ) 10.3

RMSEX wynosi ( m ) 8.2

RMSEY wynosi ( m ) 6.2



Rys. 2 Rozkład powierzchniowy błędów szacunkowych obszaru „Warszawa”

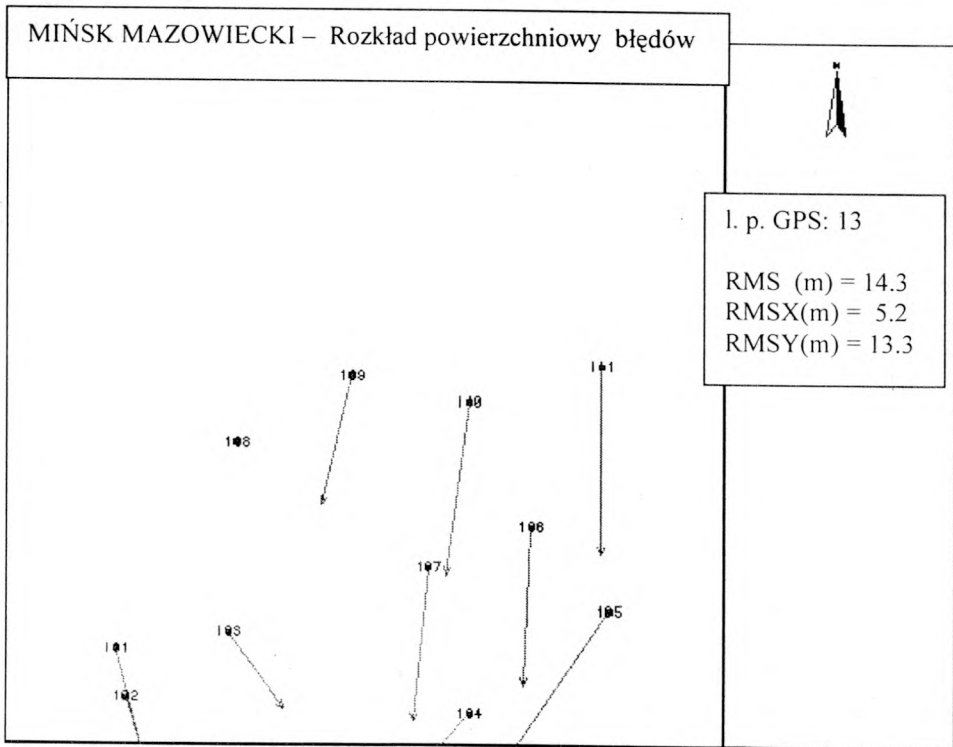
Porównanie współrzędnych pomierzonych w terenie (GPS)  
i ortofotomapie (Mińsk Mazowiecki)

Nr. P-t	Pomiar GPS		Pomiar IRS		ΔX  [m]	ΔY  [m]	Przesunię- cie [m]
	XGPS [m]	YGPS [m]	XIRS [m]	YIRS [m]			
101	1466900.1	5795027.0	1466896.0	5795042.0	4.1	15.0	15.5
102	1467242.7	5793366.0	1467238.5	5793379.0	4.2	13.0	13.6
103	1470934.2	5795615.0	1470928.2	5795623.0	6.	8.0	10.0
104	1479665.0	5792807.0	1479675.2	5792818.0	10.2	11.0	15.0
105	1484661.0	5796390.0	1484673.2	5796407.5	12.2	17.5	21.3
106	1481867.1	5799287.0	1481867.8	5799303.5	0.7	16.5	16.5
107	1478171.6	5797876.5	1478173.2	5797892.5	1.6	16.0	16.0
108	1471220.7	5802173.5	1471220.7	5802173.5	0	0	0
109	1475381.3	5804505.0	1475384.6	5804518.5	3.2	13.5	13.8
110	1479635.2	5803607.5	1479637.7	5803625.5	2.5	18.0	18.1
111	1484384.5	5804855.5	1484384.5	5804875.0	0	19.5	19.5
112	1478005.0	5814858.5	1478005.0	5814858.5	0	0	0
113	1484750.6	5814967.5	1484750.6	5814967.5	0	0	0

RMSE wynosi ( m ) 14.3

RMSEX wynosi ( m ) 5.2

RMSEY wynosi ( m ) 13.3



Rys. 3 Rozkład powierzchniowy błędów szcztkowych obszaru „Mińsk Mazowiecki”

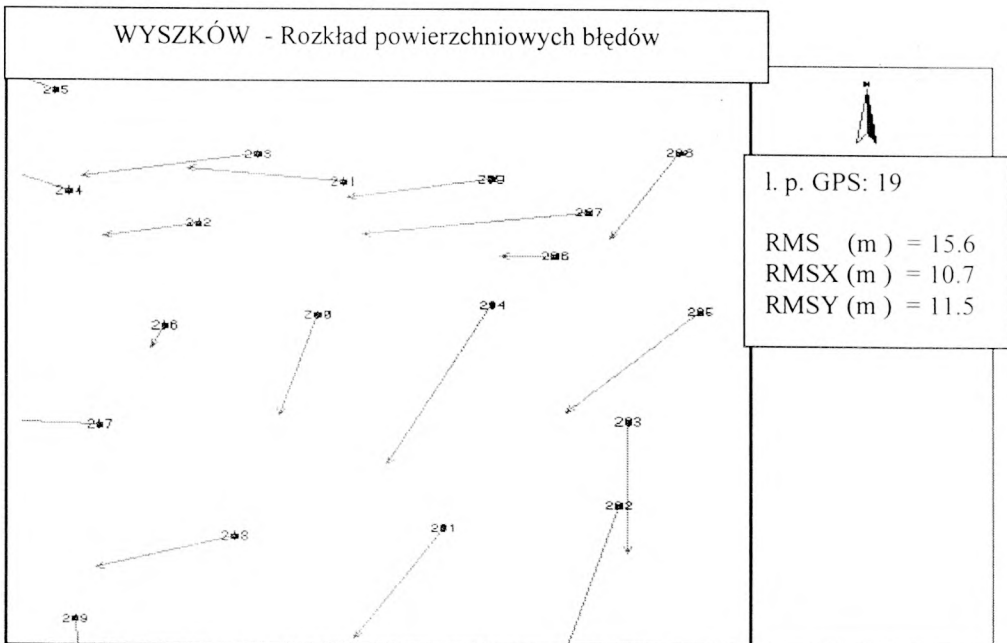
Porównanie współrzędnych pomierzonych w terenie (GPS)  
i ortofotomapie (Wyszków)

Nr.p-t	Pomiar GPS		Pomiar IRS		ΔX  [m]	ΔY  [m]	Przesunięcie [m]
	XGPS [m]	YGPS [m]	XIRS [m]	YIRS [m]			
201	1460849.3	5850623.0	1460857.5	5850630.0	8.1	12.0	14.4
202	1466155.7	5851453.0	1466166.8	5851490.0	11.1	37.0	38.6
203	1466435.5	5854539.0	1466435.5	5854553.5	0	14.5	14.5
204	1462330.6	5858798.5	1462340.2	5858816.0	9.6	17.0	19.9
205	1468629.8	5858554.5	1468642.0	5858565.5	12.1	11.0	16.3
206	1464233.1	5860583.5	1464238.0	5860583.5	4.8	0	4.8
207	1465251.8	5862193.5	1465272.5	5862196.0	20.6	2.5	20.7
208	1468018.6	5864396.5	1468025.0	5864406.0	6.3	9.5	11.4
209	1462304.0	5863397.5	1462317.1	5863399.0	13.1	2.0	13.2
210	1457019.3	5858432.5	1457022.8	5858443.0	3.5	11.0	11.5
211	1457832.8	5863297.0	1457847.1	5863295.5	14.2	1.5	14.3
212	1453420.8	5861759.0	1453429.5	5861760.5	8.6	1.5	8.7
213	1455215.0	5864300.5	1455231.0	5864303.0	16.0	2.5	16.1
214	1449500.8	5862928.5	1449506.0	5862926.5	5.1	2.0	5.5
215	1449094.8	5866595.5	1449110.7	5866588.0	15.8	7.0	17.3
216	1452392.3	5858017.0	1452393.6	5858019.5	1.2	2.5	2.7
217	1450429.3	5854380.5	1450438.6	5854380.0	9.2	0.5	9.2
218	1454519.6	5850321.0	1454532.2	5850324.5	12.6	3.5	13.1
219	1449694.0	5847256.5	1449693.3	5847263.0	0.6	6.5	6.5

RMSE wynosi ( m ) 15.6

RMSEX wynosi ( m ) 10.7

RMSEY wynosi ( m ) 11.5



Rys. 4 Rozkład powierzchniowy błędów szczytkowych obszaru „Wyszków”

Tabele Nr 1, 2, 3 przedstawiają błędy średnie dla trzech badanych obszarów jako różnice pomiędzy danymi z GPS a pomiarami tych samych punktów na zdjęciach. Wyniki zawarte w tabelach pokazują błędy po korekcji dla zdjęć na badanych obszarach. Średnie błędy dla poszczególnych fragmentów sekcji wyniosły odpowiednio 10.3, 15.6, 14.3 m.

Rys. 2, 3, 4 przedstawiają graficzną prezentację wyników zawartych w powyższych tablicach. Na rysunkach zostały przedstawione wektory zniekształceń szczytkowych w obrębie badanych obszarach.

W wyniku terenowej weryfikacji przy pomocy GPS skorygowanych zdjęć IRS można stwierdzić, że:

- zastosowana metoda pozwala wyznaczyć faktyczne zniekształcenia geometrycznie skorygowanych dowolnych zdjęć lotniczych lub satelitarnych
- Otrzymane średnie błędy dla trzech badanych obszarów mieszczą się w zakresie 10-15m co odpowiada wartości 2-3 pikseli.
- Dostrzeżono w miarę systematyczny rozkład zniekształceń co wskazuje na :
  - nie w pełni dokładną metodyką łączenia zdjęć,
  - błędy wynikłe z tytułu styków arkuszy map,
- Wyznaczone wielkości błędów średnich pokrywają się z uzyskanymi wielkościami błędów na punktach kontrolnych weryfikowanych na etapie korekcji geometrycznej zdjęć IRS.

Tą samą metodę wykorzystano do weryfikacji terenowej cyfrowej ortofotomapy dla Aglomeracji Warszawy stworzonej na podstawie barwnych zdjęć lotniczych wykonanych w maju 2001r. Dla przebadanych tą drogą czterech sekcji odpowiadających mapie 1: 10 000 w oparciu o 60 pomierzonych punktów przy pomocy odbiornika GPS uzyskano dokładności rzędu poniżej 1 m. przy zdolności rozdzielczej 0.75 m ortofotomapy.

Recenzował: prof. dr hab. Adam Linsenbarth