

**ZDJĘCIA RADAROWE TERRASAR-X / SPOTLIGHT MODE:  
KOMPLEMENTARNOŚĆ FOTOINTERPRETACYJNA W STOSUNKU DO  
ZDJĘĆ IKONOS NA OBSZARACH ZURBANIZOWANYCH**

**TERRASAR-X / SPOTLIGHT MODE RADAR IMAGES:  
PHOTOINTERPRETATION COMPLEMENTARITY WITH IKONOS IMAGES  
IN URBAN AREAS**

**Marek Mróz<sup>1</sup>, Magdalena Mleczko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Zakład Fotogrametrii i Teledetekcji, Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie

<sup>2</sup> Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej UWM – studentka V roku

SŁOWA KLUCZOWE: TerraSAR-X, „Spotlight mode”, fotointerpretacja, obszary zurbanizowane, komplementarność informacyjna, IKONOS

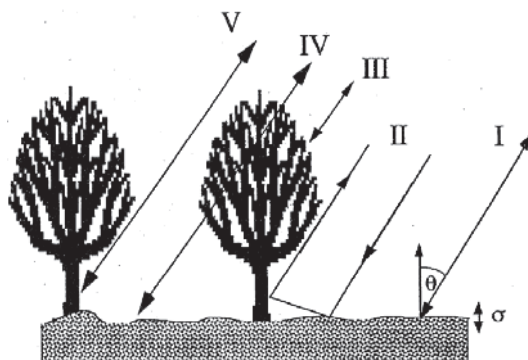
STRESZCZENIE: Zdjęcia radarowe systemu TerraSAR-X (mikrofalowe pasmo X – ok. 3cm) są dostępne w Polsce od kilku miesięcy w ramach promocyjnej kampanii firmy Infoterra GmbH oraz w ramach projektów badawczych wspieranych przez niemiecką agencję kosmiczną DLR. W pracy przedstawiono zdjęcia zarejestrowane 11-10-2007r, w trybie „Spotlight”, w rozdzielczości geometrycznej ok. 3m, o podwójnej polaryzacji: VV oraz HH, dla obszaru miasta Olsztyna i okolic. Dla tego samego obszaru, zostały również zarejestrowane w dniu 21-09-2007 zdjęcia satelitarne IKONOS o rozdzielczości 1m w trybie panchromatycznym, oraz 4 m w trybie wielospektralnym. Badana była komplementarność obu sensorów w zakresie tematycznej i topograficznej interpretacji treści tych obrazów na terenach zurbanizowanych. Analizowano możliwości identyfikacji budynków na podstawie wielospektralnych zdjęć Ikonos o podwyższonej rozdzielczości geometrycznej (*panmerged*) oraz po połączeniu tych obrazów z obrazami TerraSAR-X. Autorzy poszukiwali odpowiedzi na pytanie o wartość interpretacyjną tego typu obrazów TSX i jej ograniczenia w rozpoznaniu struktury terenów zabudowanych w stosunku do zdjęć wysokorozdzielczych Ikonos. Wyniki wskazują, że analizowany produkt TSX/Spotlight o badanych parametrach nie spełnił oczekiwań fotointerpretacyjnych w zakresie stawianym w pracy.

## **1. WPROWADZENIE TEORETYCZNE I CEL PRACY**

Możemy zidentyfikować przynajmniej 5 ważnych mechanizmów rozpraszania w teledetekcji radarowej:

- I. Rozpraszanie wsteczne od powierzchni szorstkiej (*backscattering from a rough surface*);
- II. Odbicie wielokrotne niskiego rzędu (*low-order multiple scattering, double bounce*, ) jakie pojawia się na obszarach leśnych lub zurbanizowanych i jest efektem odbicia przez dwuściany;
- III. Rozproszenie objętościowe losowe (*random volume backscatter*) z nieprzenikalnej warstwy dyskretnych rozpraszaczy;

- IV. Rozpraszanie powierzchniowe (*surface scattering*) po przejściu przez ośrodek o losowych rozmieszczeniu rozpraszaczy, jakie pojawia się w przypadku użycia pasma P lub L w celu penetracji w pokrywę roślinną;
- V. Pojedyncze odbicie (rozproszenie) od struktur anizotropowych takich jak pnie drzew, gdzie wsteczne rozproszenie może być modelowane jako rozproszenie pochodzące od szorstkiego dielektrycznego walca lub innego obiektu podstawowego



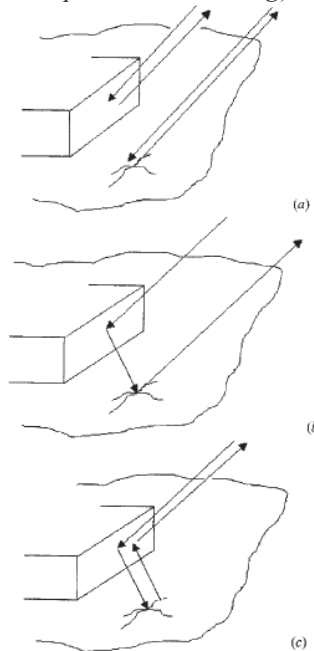
Rys. 1. Komponenty rozpraszania wiązki radarowej

Wsteczne rozproszenie fal radarowych w terenach zurbanizowanych jest zwykle wyższe niż na obszarach niezurbanizowanych (naturalnych). Wiadomo, że to silne rozpraszanie pochodzi od sztucznych obiektów takich jak ściany i dachy budynków wykonane przez człowieka z różnych materiałów. Na obszarach zurbanizowanych znajdują się liczne konstrukcje działające jak reflektory narożnikowe, utworzone z kombinacji ścian, dachów i przyziemi budynków. Również nachylone połacie dachowe, zwrócone w kierunku radaru działają jak silne reflektory. Niestety, dla obszarów miejskich wiedza na temat związków między „odpowiedzią radarową” i cechami przestrzeni zurbanizowanej, takimi jak geometryczne i fizyczne właściwości konstrukcji zbudowanych przez człowieka jest mniejsza niż dla obszarów naturalnych. Głównym powodem braku fizycznych i matematycznych modeli jest wysoka zmienność krajobrazu miejskiego, złożone kombinacje elementów antropogenicznych, inżynierskich i naturalnych, mnogość materiałów, wielkości i kształtów obiektów (Franceschetti 2002).

Prowadzono już różne prace modelowe i symulacyjne w zakresie rozpraszania wiązki radarowej przez obiekty terenów zurbanizowanych (Fujita, Miho 2006). Analizy danych AirSAR z Sydney pokazały, że nieparzyste odbicia (*odd-bounce scattering*) od nachylonych dachów przeważały przy małych kątach padania mikrofal, podczas gdy podwójne (*double-bounce scattering*) dominowały od dwuściennych form przyziemi-ściana przy dużych kątach padania. Mechanizmy rozpraszania silnie zależą od kierunku oświetlania wiązką radarową i jej orientacji w stosunku do budynków. W literaturze proponuje się ostatnio modelowe podejście do rozpraszania mikrofal na terenach zurbanizowanych, odwołujące się do dekompozycji polarymetrycznej odbitego echa (*target decomposition analysis*), szczególnie w sytuacji, gdy satelitarne urządzenia SAR osiągają rozdzielczości pojedynczych metrów i w pojedynczej komórce rozdzielczości może rzeczywiście znaleźć się specyficzna struktura z właściwym sobie dominującym mechanizmem odbicia. Rozproszenie radarowe z obszarów zurbanizowanych jest

połączeniem składowych „emanujących” z wielu centrów rozpraszania na danym obszarze. Każde takie centrum odbija falę padającą stosownie do swojej struktury i właściwości dielektrycznych, tak więc fale rozpraszane i odbijane wstecznie mogą być rozważane jako transformacje fal padających zgodnie z charakterystykami „oświetlanego” obiektu. Tak więc przez analizę danych polarymetrycznych pozyskanych dla obszaru zurbanizowanego możemy związać je ze strukturą tkanki urbanistycznej. Kilka metod jest stosowanych do oceny polarymetrycznych charakterystyk rozpraszania fal radarowych. Typowym podejściem jest metoda TDM (*target decomposition method*) zaproponowana przez Dong’a, uniwersalna w zastosowaniu do różnego rodzaju rozpraszaczy i materiałów. Dekomponuje ona macierz Muellera na cztery typowe mechanizmy rozpraszania:

- DB (*double-bounce scattering*),
- OB (*odd-bounce scattering*),
- BS (*Bragg scattering*),
- CS (*cross-polarized scattering*).



W przypadku danych niepolarymetrycznych (produktów amplitudowych) proponuje się w literaturze podejścia modelowe z zakresu optyki geometrycznej i fizycznej: PO – Physical Optics i GO - Geometrical Optics (Franceschetti et al. 2002). Autorzy ci podają, że sygnał radarowy jest bardzo czuły na orientację budynków, gdy szorstkość otaczającego terenu jest mała a kąt obrazowania jest większy niż 30stopni. Odwrotnie – odpowiedź radarowa słabo zależy od orientacji budynków gdy szorstkość terenu jest duża, a kąt padania mniejszy od 30 stopni. Dodatkowo, jeżeli rejestrujemy w układzie polaryzacji zachowanej VV lub HH, przy małej szorstkości terenu, zachodzi wielokrotne rozpraszanie (*multiple scattering*) między budynkiem i terenem, stając się dominującym mechanizmem rozpraszania dla szerokiego przedziału wartości kąta orientacji budynków. Z drugiej strony, jeżeli teren jest bardzo szorstki, a kąt obrazowania mały, pojedyncze odbicie od terenu odgrywa często fundamentalną rolę.

Rys. 2. Przypadki odbicia od budynków

Celem pracy była analiza jednego z pierwszych pozyskanych na obszarze Polski obrazów TerraSAR-X zarejestrowanych w trybie Spotlight, obrazu nowej generacji, o wyższej rozdzielczości geometrycznej niż stosowane dotychczas z pułapu satelitarnego. Przedmiotem analizy była przydatność fotointerpretacyjna obrazu w zakresie identyfikacji budynków, testowana w dzielnicy miasta Olsztyna o zabudowie indywidualnej, parterowej i jednopiętrowej, przy bardzo zróżnicowanym układzie ulic.

## 2. MATERIAŁY I METODY

Krótki opis systemu i wybranych produktów TerraSAR-X.

Tabela 1. Podstawowe dane techniczne systemu TSX

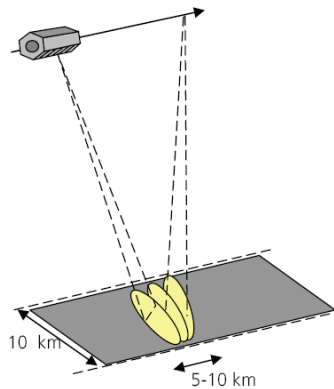
Parametry orbity i położenia		Parametry Systemu	
Nominalna wysokość orbity [km]	514	Częstotliwość fali nośnej	9.65 GHz
Interwał czasu [dni]	11	Polaryzacje	HH, VH, HV, VV
Zasięg kąta padania w trybie Spotlight	20° – 55° pełnowartościowych (15°-60° dostępnych)	Długość anteny Szerokość anteny Nominalny kierunek obrazowania	4.8 m 0.7 m w prawo
<i>Pulse Repetition Frequency</i> (PRF)	2.0 kHz – 6.5 kHz	Liczba położen wertykalnych anteny w trybie ScanSAR	12 (pełnowartościowych) 27 (dostępnych)
Liczba obserwacji w kierunku azymutalnym	229	Liczba obserwacji w kierunku wertykalnym	91 (pełnowartościowych) 122 (dostępnych)

Tabela 2. Podstawowe parametry produktów SL i HS

Charakterystyczne parametry trybu Spotlight Mode (SL) i High Resolution Spotlight Mode (HS).	Wartość	
	Spotlight Mode (SL)	High Resolution Spotlight Mode (HS).
<b>Parametr</b>		
Wymiar obrazu	10 km (azymut) x 10 km (rozdzielczość terenowa)	5 km (azymut) x 10 km (rozdzielczość terenowa)
Zakres dostępnych kątów obrazowania	15° - 60°	15° - 60°
Liczba wertykalnych położen anteny	91 (pełnowartościowych) 122 (dostępnych)	91 (pełnowartościowych) 122 (dostępnych)
Liczba azymutalnych położen anteny	od 125 do 229	od 125 do 229
Azymutalny kąt sterowania zrandomizowany	± 0.75°	± 0.75°
Rozdzielczość azymutalna	1.7 m (pojedyncza polaryzacja) 3.4 m (podwójna polaryzacja)	1.1 m (pojedyncza polaryzacja) 2.2 m (podwójna polaryzacja)
Rozdzielczość terenowa	1.48 m - 3.49 m (@ 55°..20° kąt padania)	1.48 m - 3.49 m (@ 55°..20° kąt padania) 0.74 m – 1.77 m (300 MHz częstotliwość opcjonalna przy zmniejszonej szerokości pasa obrazowego)
Polaryzacje	HH albo VV (pojedyncze) HH/VV (podwójne)	HH albo VV (pojedyncze) HH/VV (podwójne)

Obrazowanie w trybie SL – Spotlight pozwala na uzyskanie sceny o wymiarach ok. 10x10 km, porównywalnej wielkością do sceny Ikonos. Zmiana trybu obrazowania na tryb najwyższej rozdzielczości geometrycznej powoduje konieczność zmniejszenia o połowę szerokości pasa obrazowania. Czyni to system mniej wydajnym. Teoretyczna, maksymalna rozdzielczość geometryczna w kierunku zasięgu, w pojedynczej polaryzacji

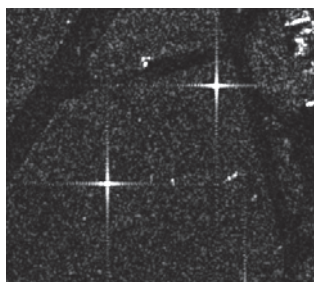
wynosi 0.89m, co wynika z szerokości pasma 150 MHz, jeżeli nie stosuje się żadnego wagowania spektralnego. Dla wszystkich produktów rozdzielczość maksymalna jest jednak zdecydowanie zredukowana przez wagowanie spektrum w kierunku zasięgu i azymutu przy użyciu tzw. okna Hamminga (wsp. Alfa = 0.6) w celu zniesienia listków bocznych anteny. To zredukowanie listków bocznych jest szczególnie ważne w obrazowaniu obszarów zurbanizowanych i przemysłowych, gdzie wysoka rozdzielczość przestrzenna systemu eksponuje (pokazuje, ujawnia) wielką liczbę niezwykle silnych rozpraszaczy, prowadzącą do wysokich kontrastów obrazu. Zależnie od kąta padania ukośna rozdzielczość (*slant range resolution*) równa 1.2m przekształca się do rozdzielczości terenowej (*ground range resolution*) o współczynnik  $1/\sin(\text{kąta padania})$ , to jest odpowiednio - do 1.7m przy kącie 45 stopni i 3.49m przy kącie 20 stopni.



W trybie Stripmap dual polarization wartość efektywna PRF (*Pulse Repetition Frequency*) na kanał jest obniżona i efektywna rozdzielczość produktów jest ustalona na 6.6m, tj. dwukrotność wartości dla pojedynczej polaryzacji. Przetwarzane pasma dopplerowskie są zatem równe 2765 i 1380 MHz, odpowiednio dla *single* i *dual polarization*. Analogiczna strategia jest stosowana w przypadku trybu *spotlight*.

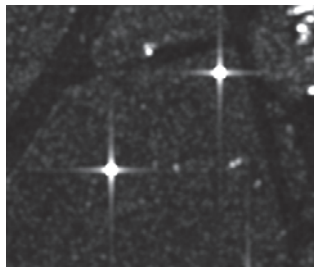
Dla produktów zespolonych SSC rozdzielczość jest podawana w *azimuth* i *slant range*, natomiast dla produktów pochodnych (*detected*) jest podawana *in ground range*. W przypadku tych ostatnich redukcja rozdzielczości jest też powodowana zwiększeniem liczby look-ów co redukuje speckle i szum termiczny poprawiając rozdzielczość radiometryczną. Zaproponowano, zatem dwie różne strategie prowadzące do uzyskania dwu wariantów produktów pochodnych. Jeden optymalizowany dla rozdzielczości przestrzennej (SE - *spatially enhanced*), a drugi dla jakości radiometrycznej (RE - *radiometrically enhanced*). W obu wariantach zastosowano kwadratową komórkę rozdzielczości w mierze terenowej.

#### Spatially Enhanced Products (SE).



Produkt SE jest zaprojektowany jako możliwa najwyższa kwadratowa komórka rozdzielczości terenowej. W zależności od trybu obrazowania, polaryzacji i kąta padania większa komórka rozdzielczości, w kierunku azymutu lub w kierunku zasięgu, określa wymiar boku kwadratu piksela. Mniejsza, zaś jest do niej wyrównana a odpowiednia redukcja pasma przenoszenia (*bandwidth*) jest zastosowana w celu redukcji speckle'a.

Radiometrically Enhanced Products (RE).



Produkt RE jest optymalizowany ze względu na radiometrię. Rozdzielczość azymutalna i rozdzielczość w zasięgu są w sposób intencjonalny pogarszane w celu znaczącej redukcji speckle'a przez uśrednienie w przybliżeniu 6 (5-7) „looków” aby otrzymać rozdzielczość radiometryczną rzędu 1.5 dB. SNR (Signal to Noise Ratio), który na ogół pogarsza się dla większych kątów padania jest zakładany na poziomie -6 dB dla 20 stopni i -12 dB dla 50 stopni.

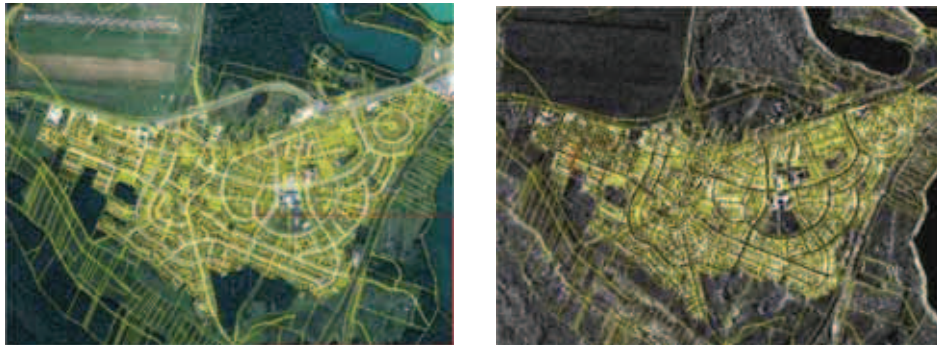
Tabela 3. Parametry techniczne wykorzystanego obrazu

Misja – TSX Date: 2007-10-11, 06h41 – czasu lokalnego	Level 1B Product
Orbita: 1793	Wariant produktu - EEC (Enhanced Earth Corrected)
Tryb obrazowania – SL (Spotlight Mode)	Wariant rozdzielczości – rozdzielczość radiometryczna
Tryb podwójnej polaryzacji	Polaryzacje HH / VV
Numer wiązki wertykalnej - Spot 094	Liczba wiązek azymutalnych - 41
Identyfikator pierwszej wiązki azymutalnej - 135	Identyfikator ostatniej wiązki azymutalnej - 95
Częstotliwość wysyłania impulsów: 3 700 MHz	Kąt padania w środku sceny: 53.4 deg.
Dokładność orbity: RAPID	<b>Kąt orientacji anteny: 187.4848 deg</b>
Nominalna rozdzielczość w kierunku ukośnym: 1 m	Nominalna rozdzielczość azymutalna: 2 m
Rozdzielczość terenowa: 5.9 m	Rozdzielczość azymutalna: 5.9 m
Liczba próbek w kierunku azymutalnym: 1.59	Identyfikator piksela – Radar Brightness (BETA NOUGHT)
Kodowanie wartości pikseli – 16 bits	Układ mapy - UTM
Wymiar piksela w wierszach: 2.75 m w układzie mapy	Wymiar piksela w kolumnach: 2.75 m w układzie mapy
Metoda resamplingu: Cubic Convolution	

W świetle powyższej tabeli widać, że teoretyczna rozdzielczość geometryczna deklarowana jako odległość ukośna w praktyce redukuje się kilkakrotnie (z 2 metrów do 6 np.), a podawana wielkość piksela w dostarczonym produkcie nie może być wprost wyznacznikiem przydatności lub nieprzydatności apriorycznej danego produktu do określonych celów fotointerpretacyjnych. Do oceny przydatności zdjęcia TSX wykonano ortofotomapę ze zdjęcia Ikonos oraz zidentyfikowano na niej około 700 budynków jedno i dwupiętrowych, wolnostojących i szeregowych, przypisując im kilka atrybutów: współrzędne środka dachu, rodzaj dachu oraz azymut głównej osi budynku. Dokładność geometryczna ortofotomapy IKONOS została potwierdzona na podstawie wektorowej mapy ewidencyjnej a dokładność transformacji wielomianowej obrazu TSX do układu ortofotomapy uzyskana na podstawie 15 fotopunktów, mierzona wartością RMSE (root mean square error) wyniosła 0.63 m. Podstawowym zadaniem i przetworzeniem było poszukiwanie na obu obrazach HH i VV progów wartości radiometrycznych (amplitudy reprezentowanej przez wartości pikseli DN) odpowiadających silnym rozpraszaczom, którymi są budynki. Dla obu testowano przedziały 0.02, 0.08 i 0.16% najwyższych wartości, co odpowiadało około 100, 500 i 1000 pikselom. Ostatnia wartość została przyjęta jako graniczna. Wartości niższe niż wytypowane progi mogły oczywiście też pochodzić od budynków, ale w takich



przypadkach były to po prostu budynki niewykryte na obrazie TSX i wtapiające się w otoczenie naturalne.



Rys. 5. Zdjęcia Ikonos i TerraSAR-X z „nakładką granic ewidencyjnych”



Rys. 6. Zdjęcia Ikonos i TerraSAR-X z „nakładką budynków”



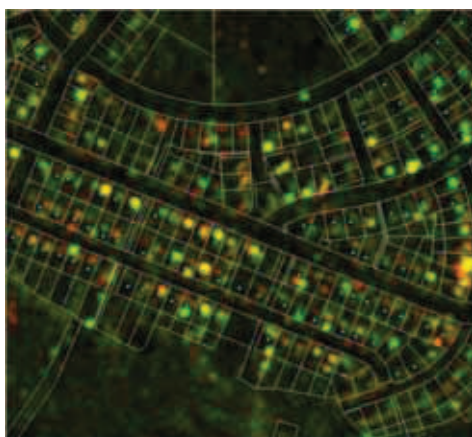
Rys. 7. Kompozycja barwna złożona z obrazu HH i VV odpowiednio jako komponenty R i G (komponent B wynosi zero). Zmienność barw wskazuje na nieco odmienne rozpraszanie w obu komponentach polaryzacji

### 3. WYNIKI I WNIOSKI

Prezentowane wyniki są wynikami wstępnymi opartymi na analizach wizualnych obrazów TSX oraz Ikonos, popartych tylko prostym modyfikowaniem kontrastu w procedurze progowania. Lepszy pogląd na komplementarność obrazów daje kompozycja nr 8b powstała przez integrację obrazów TSX oraz Ikonos metodą transformacji RGB – IHS oraz rysunek 9 przedstawiający fragment kompozycji radarowej z zaznaczonymi środkami dachów budynków.



Rys. 8 a i b. Fragment obrazu Ikonos oraz kompozycji po transformacji RGB-IHS



Rys. 9. Różnice w położeniu budynków reprezentowanych przez „centroidy” dachów w stosunku do najjaśniejszych pikseli radarowych

Analizowany obraz TSX został zarejestrowany w wariancie RE, co oznacza, że jest to najlepsza dla tego trybu obrazowania jakość radiometryczna. Wnioskować jednak należy, że w procesie uśredniania „looków” poprawa jakości radiometrycznej odbyła się kosztem dużej straty na rozróżnialności części budynków (niektórych budynków), które po prostu „zniknęły”. W kilku przypadkach można znaleźć różnice intensywności



pikseli uwidaczniające elementy infrastruktury na komponencie VV w stosunku do HH. Nie jest to na tyle ważne aby programować rejestracje w podwójnej polaryzacji, która nie rekompensuje skutków utraty rozdzielczości przestrzennej, podobnie jak przez „multilooking”, w celu wytworzenia produktu RE. Analiza obrazu wskazuje, że kąt obrazowania 53 stopnie manifestuje się przede wszystkim zjawiskiem *double bounce*, tak nasilonym, że jako najjaśniejsze piksele widzimy części obiektu będące przyziemiami, od strony oświetlenia wiązka radarową. Stąd dostrzegalne regularne przesunięcia całych ciągów domów w stosunku do ich obrazu optycznego. Nie wydaje się celowe i korzystne zamawianie i programowanie obrazów TSX w trybie Spotlight, w powyższej konfiguracji, do analizy rozwoju i ekspansji terenów zurbanizowanych. Rozpoczęte prace zostaną uzupełnione o szczegółowe analizy azymutów budynków oraz konstrukcje dachów bardziej w kierunku oceny jakościowej zaobserwowanych zjawisk, niż w aspekcie komplementarności z wysokorozdzielczym obrazem optycznym.

Analizowany obraz TSX został udostępniony bezpłatnie dzięki uprzejmości firmy Infoterra, która zarejestrowała go w czasie orbitalnej fazy testowej satelity TerraSAR-X.

#### 4. LITERATURA

Cloude S.R., Pottier E. 1996. A Review of Target Decomposition Theorems in Radar Polarimetry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 34, No.2, March 1996.

Franceschetti G. et al. A Canonical Problem in Electromagnetic Backscattering From Buildings. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 40, No.8, August 2002.

Fujita M, Miho Y., 2006. Analysis of a Microwave Backscattering Mechanism From a Small Urban Area Imaged With SIR-C. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 3, No. 1, January 2006.

TX-GS-DD-3302. TerraSAR-X. Ground Segment. Basic Product Specification Document. Issue. 1.5. 24.02.2008.

**TERRASAR-X / SPOTLIGHT MODE RADAR IMAGES:  
PHOTOINTERPRETATION COMPLEMENTARITY WITH IKONOS IMAGES  
IN URBAN AREAS**

**Marek Mróz<sup>1</sup>, Magdalena Mleczko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Department of Photogrammetry and Remote Sensing,  
University of Warmia and Mazury in Olsztyn

<sup>2</sup>Faculty of Geodesy and Land Management –M.Sc. student

KEY WORDS: TerraSAR-X, „Spotlight mode”, photointerpretation, urban areas, complementarity of information, IKONOS

**Summary**

TerraSAR\_X radar images are now available to scientific groups in Europe and Poland in the framework of Infoterra's GmbH promotional campaign and through DLR's research proposals. The paper focuses on the use of TSX / Spotlight mode image, dual polarization VV/ HH acquired on 11 October 2007 over the urban area of Olsztyn in Poland. The same area was covered by an optical VHR Ikonos image taken on 21 September 2007. The complementarity of both sensors was studied in relation to visual identification and mapping of buildings. The aim of this study was to evaluate the suitability of the TSX image parameters for this task. The results showed the image parameters (RE, dual pol., spot 094) were not particularly adequate to the needs and failed to meet the photointerpreters' requirements.

dr hab. inż. Marek Mróz  
e-mail: marek.mroz@uwm.edu.pl  
tel. 609125816  
fax: 089 523 3210

Magdalena Mleczko  
e-mail: macia-m@o2.pl