

Dynamika zmian powierzchni terenu na Górnym Śląsku w okresie 10.07–25.08.2007 r. na podstawie danych interferometrycznych z satelity ALOS

Magdalena Czarnogórska¹, Marek Graniczny¹, Zbigniew Kowalski¹, Urs Wegmüller²



M. Czarnogórska M. Graniczny Z. Kowalski U. Wegmüller

Najnowsze satelitarne dane interferometryczne z japońskiego satelity ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) obejmujące rejon Górnego Śląska zostały otrzymane dzięki uczestnictwu Państwowego Instytutu Geologicznego w międzynarodowym konsorcjum *Terrafirma* (Graniczny i in., 2005). W ramach drugiego etapu tego projektu pozyskano bazę danych, funkcjonującą pod nazwą Rybnik-Ostrawa, która obejmuje obszar Polski i Czech pomiędzy Częstochową a rejonem Ostrawy-Karwiny (ryc. 1). Zgod-

nie z ustaleniami konsorcjum dane interferometryczne zostały przetworzone w szwajcarskiej firmie *Gamma Remote Sensing*, a ich interpretacja została powierzona Państwowemu Instytutowi Geologicznemu.

W ramach poprzednich etapów działalności konsorcjum *Terrafirma* dane interferometryczne PSI (*Persistent Scatterer Interferometry*) z Górnego Śląska pochodziły z satelitów operujących w zakresie mikrofal, takich jak ERS-1, ERS-2 i ENVISAT. Tym razem po raz pierwszy wykorzystano dane z satelity ALOS.

Największy obecnie satelita na świecie — ALOS, nazywany również *Daichi*, został umieszczony na orbicie 24.01.2006 r. Pierwszy rok funkcjonowania satelity był praktycznie poświęcony kalibracji i ocenie wiarygodności pozyskiwanych danych. Założono, że satelita ma dostarczać niedrogie dane doskonałej jakości, które mogą być następnie wykorzystane do sporządzania map topograficznych, monitoringu katastrof przyrodniczych oraz zmian klimatycznych. W pewnym sensie ALOS ma być również

¹Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; magdalena.czarnogorska@pgi.gov.pl, marek.graniczny@pgi.gov.pl, zbigniew.kowalski@pgi.gov.pl

²Gamma Remote Sensing, Worbstrasse 225, CH-3073 Gümligen, Switzerland; wegmuller@gamma-rs.ch

następcą serii amerykańskich satelitów z serii *Landsat*. Na podstawie 5-letniego porozumienia, zawartego pomiędzy Japońską Agencją Kosmiczną (JAXA) a rządowymi agendami naukowymi Australii, Nowej Zelandii, Papui Nowej Gwinei i Wyspami Południowego Pacyfiku, głównym celem satelity ALOS jest:

- dostarczenie informacji kartograficznych dla Japonii oraz innych krajów Azji i Pacyfiku;
- zbieranie regionalnych obserwacji na temat zrównoważonego rozwoju (harmonizacja pomiędzy warunkami środowiskowymi a rozwojem przemysłu);
- prowadzenie monitoringu katastrof w skali światowej;
- prowadzenie monitoringu zasobów naturalnych;
- rozwijanie technologii, w kontekście przyszłych systemów satelitarnych.

Satelita ALOS zawiera trzy podstawowe systemy służące obserwacji Ziemi. Pierwszy z nich, pod nazwą PRISM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*), jest wyposażony w trzy teleskopy skierowane do przodu i do tyłu, które umożliwiają zobrazowanie w zakresie widma widzialnego 0,52–0,77 μm przy zachowaniu zdolności rozdzielczej na powierzchni Ziemi 2,5 m. System ten umożliwia tworzenie precyzyjnego modelu cyfrowego terenu (DEM), adekwatnego do map w skali 1 : 25 000.

Drugi system, AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2*), obejmuje wielospektralne urządzenie obrazujące CCD (*Charge Coupled Device*) operujące w trzech zakresach widma widzialnego (niebieski, zielony i czerwony) oraz w bliskiej podczerwieni. System gwarantuje zdolność rozdzielczą na powierzchni terenu równą 10 m. Przyjęto założenie, że dane systemu (porównywane do danych pochodzących z satelitów *Landsat*) mają być pomocne w opracowywaniu map użytkownika terenu oraz w monitorowaniu środowiska naturalnego, włączając katastrofy przyrodnicze.

Trzeci system, PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*), umożliwiający zobrazowanie w zakresie aktywnych mikrofal (radar), jest najbardziej istotny z punktu widzenia autorów niniejszego artykułu. Systemy radarowe umożliwiają pozyskanie informacji niezależnie od warunków pogodowych oraz pory doby. Ponadto system PALSAR umożliwia pozyskanie danych z wielu wariantów zdolności rozdzielczej (10–100 m) oraz polaryzacji (poziomej i pionowej).

Podstawową cechą odróżniającą satelitę ALOS PALSAR od satelitów ERS i ENVISAT jest większa częstotliwość *L band* (1,27 GHz), odpowiadająca długości fali 23,6 cm, w stosunku do *C band*, która odpowiada długości fali 5,6 cm. Różnica ta ma podstawowe znaczenie w określaniu różnic przemieszczeń terenu metodą interferometryczną. Ponadto pasmo L pozwala na lepszą koherencję w dłuższych bazach czasowych i mniejszą dekorrelację wskutek wegetacji. Interferogramy są znacznie czytelniejsze, mają jednak mniejszą dokładność i mniejszą czułość w wykrywaniu niewielkich przemieszczeń.

Tymczasem należy z przykrością odnotować pewne ograniczenia dostępu i opóźnienia w dostarczaniu informacji z satelity ALOS dla obszaru Europy, ponieważ z oczywistych względów (wzmiankowanych uprzednio) priorytet ma Azja.

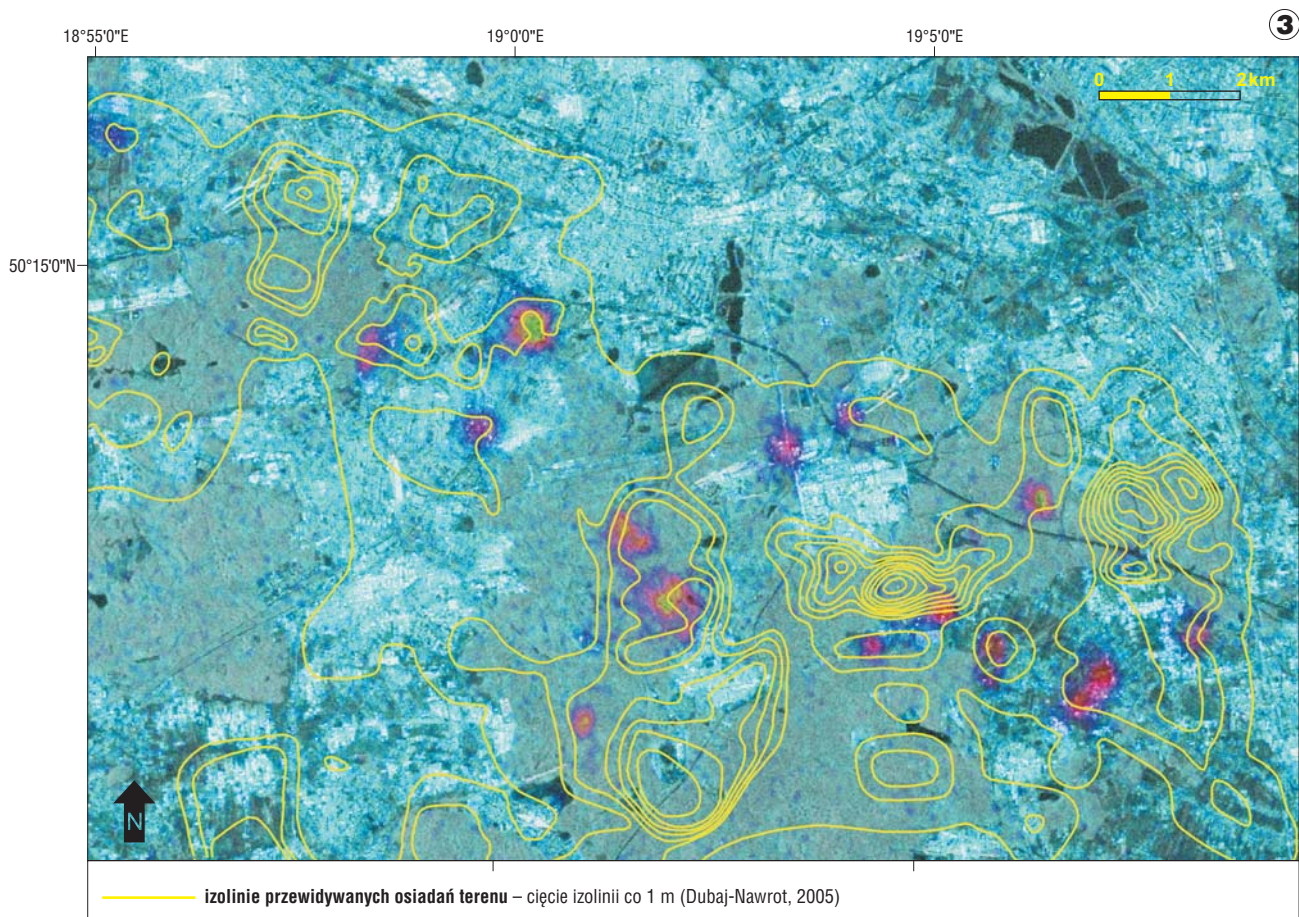
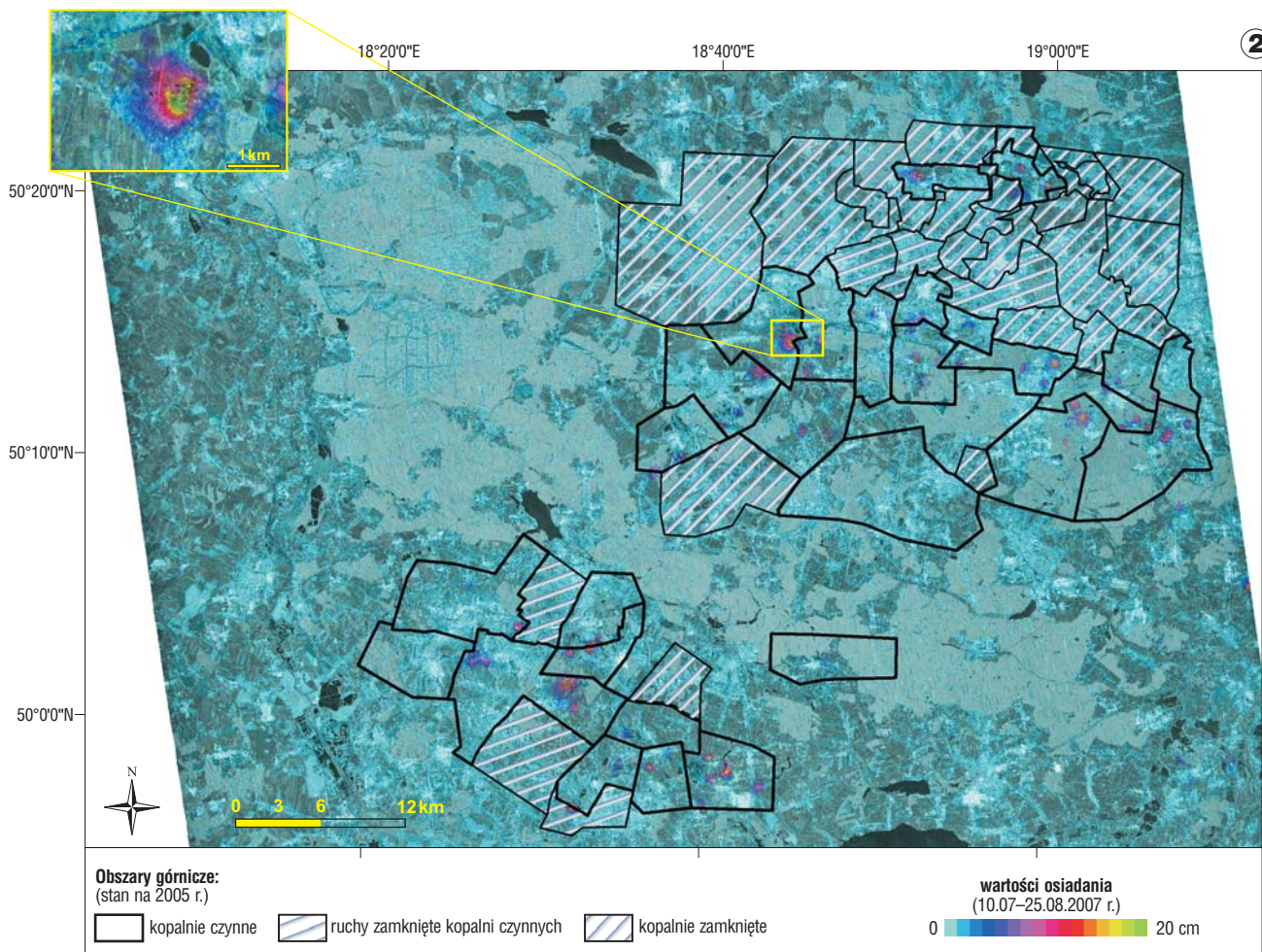


Ryc. 1. Zasięg obrazowania ALOS — obszar badań

Zbiór danych ALOS PALSAR z Górnośląskiego Zagłębia Węglowego obejmuje dwa tryby pozyskiwania danych: FBS (*Fine Beam Single*) i FBD (*Fine Beam Double*). Tryb pierwszy, o szerokości pasma impulsu 28 MHz, jest używany do przygotowania obrazu o polaryzacji H-H (poziom-poziom). W drugim wypadku w tym samym czasie są otrzymywane obrazy o polaryzacji H-H i H-V (poziom-pion), każdy z nich o szerokości pasma impulsu o połowę mniejszej, tj. 14 MHz. Dlatego też obrazy spolaryzowane H-H w trybie FBD mają dwa razy niższą rozdzielczość niż w wypadku FBS.

Dostępne obrazy zostały przetworzone do formatu *Single Look Complex*. Przeprowadzono ich rejestrację w projekcji ukośnej *slant-range*. Sprowadzenie danych interferometrycznych PALSAR do pojedynczego obrazu wymagało zastosowania metody interferometrii różnicowej z dwóch nalotów satelitarnych (Wegmüller & Strozzi, 1998). Jako referencyjne dane wysokościowe wykorzystano SRTM 3" DEM.

W trakcie przetwarzania danych założono szybkie przemieszczenia powierzchni terenu (osiadania górnicze lub aktywność osuwiskową). Wyseparowano zlokalizowany sygnał deformacji oraz błędy wynikające z dystorsji atmosferycznej i odległości bazowej, opierając się na ich różnej rozdzielczości przestrzennej. W metodyce przetwarzania zobrazowań wykorzystano połączenie trybów FBS i FBD (Werner i in., 2007).



←

Ryc. 2. Mapa deformacji zarejestrowanych w okresie 10.07–25.08.2007 na tle obszarów górniczych GZW

Ryc. 3. Porównanie mapy deformacji z okresu 10.07–25.08.2007 i izolacji przewidywanych osiadań terenu aglomeracji katowickiej

Różnica czasowa dwóch zobrazowań omawianych w niniejszym artykule wynosiła 46 dni (10.07–25.08.2007 r.) można więc powiedzieć, że prezentowany materiał przedstawia aktualny stan dynamiki powierzchni terenu na Górnym Śląsku.

Dotychczasowe doświadczenia wykazały, że interferogramami różnicowymi można rejestrować osiadania powodowane wydobywaniem węgla kamiennego. Jednakże dane interferometryczne z pasma C stosowanego głównie do tej pory (satelity ERS czy ENVISAT) umożliwiały śledzenie powolnych, niewielkich deformacji w skali od milimetrów do kilku centymetrów, w wypadku analizy PSI. Dane te, jakkolwiek niezwykle interesujące, ze zrozumiałych względów były dotychczas przedmiotem niewielkiego zainteresowania przedstawicieli górnictwa węgla kamiennego, którzy na podstawie pomiarów własnych służb geodezyjnych rejestrowali różnice sięgające decymetrów czy nawet metrów.

Niemniej jednak były przedsięwzięcia wykorzystujące tę technikę w określaniu geozagrożeń, jak chociażby projekt analizy danych InSAR zrealizowany dla marszałka województwa śląskiego w 2000 r. i wiele opracowań dla LGOM wykonanych przez Akademię Górniczo-Hutniczą. W górnictwie węglowym interferometria została użyta praktycznie np. do analizy autostrady A-4 (Krawczyk i in., 2007).

Deformacje terenu powstające jako skutek eksploatacji podziemnej można podzielić na nieciągłe i ciągłe (Dubaj-Nawrot, 2005). Deformacje ciągłe występują w formie łagodnych niecek osiadania o zasięgu wykraczającym poza kontur eksploatacji. Na powierzchni nie dochodzi do wyraźnego naruszenia spójności skał lub gruntów. Deformacje ciągłe określa się, podając składowe przemieszczenia punktów powierzchni, pionowe (obniżenia) i poziome oraz pochodne tych przemieszczeń w formie nachyleń i krzywizn terenu, odkształceń poziomych i pionowych. Podstawowe wskaźniki przemieszczeń to: maksymalna wielkość osiadań, nachylenie terenu, odkształcenie właściwe poziome oraz krzywizna terenu lub jej promień. Na większych głębokościach eksploatacji deformacje ciągłe powierzchni stają się bardziej regularne, ale również przestrzennie rozleglejsze. Niecki osiadania są możliwe do prognozowania i podaje się ich wartości średnie.

Nieciągłe deformacje terenu dzielą się na powierzchniowe i liniowe. Nieciągłe deformacje powierzchniowe powstają wskutek przemieszczeń przypowierzchniowych elementów górotworu do pustek, które utworzyły się po wcześniejszych wyrobiskach górniczych lub gdy eksploatacja była prowadzona na małej głębokości. Występują one zasadniczo nad konturem eksploatacji. Deformacje powierzchniowe występują zwykle w formie zapadlisk jako lokalne obniżenie terenu. Zapadliska przybierają najczęściej formę lejów stożkowych, mogą mieć także formę otworów cylindrycznych lub nieregularnych zapadlisk prostopadłościennych. Nieciągłe deformacje liniowe

towarzyszą przede wszystkim obniżeniom terenu w rejonie pól płytkiej eksploatacji górniczej nad szybko postępującym frontem robót górniczych oraz w rejonach wychodni uskoków tektonicznych lub wychodni pokładów nachylonych naruszonych robotami górniczymi. Deformacje nieciągłe powstają na ogół w sposób gwałtowny i są praktycznie niemożliwe do przewidzenia.

Analizując bazę danych ALOS, z łatwością można zauważyć charakterystyczne owalne prążki interferometryczne (*fringes*) różniące się wielkością i ilością pierścieni. Wskazują one na przemieszczenia, które w skrajnych wypadkach sięgają 20 cm w trakcie 46 dni! Co ciekawsze, prążki występują przede wszystkim na obszarach górniczych kopalń węgla kamiennego, tam gdzie prowadzona jest bieżąca eksploatacja (ryc. 2). Niezwykle interesująco wygląda również porównanie danych interferometrycznych z danymi przewidywanymi osiadań powierzchni terenu zawartymi w atlasie geologiczno-inżynierskim aglomeracji katowickiej (Dubaj-Nawrot, 2005). Widać wyraźnie, że w znacznym stopniu izolacji przewidywanych osiadań oraz prążki interferometryczne są ze sobą zbieżne (ryc. 3). Analiza danych powinna być kontynuowana w skali szczegółowej w ścisłym porozumieniu z przedstawicielami kopalń, spółek węglowych oraz władzami samorządowymi.

Na obecnym etapie można jednak stwierdzić, że dane ALOS są doskonałym uzupełnieniem informacji górniczo-geodezyjnych na temat przemieszczeń terenu. Jako stosunkowo tani i łatwo dostępny produkt, w porównaniu z metodami tradycyjnymi, należy je bezwzględnie wykorzystywać do bieżącego monitoringu obszarów górniczych.

Literatura

- DUBAJ-NAWROT J. (red.) 2005 — Baza danych geologiczno-inżynierskich wraz z opracowaniem atlasu geologiczno-inżynierskiego aglomeracji katowickiej. CAG Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- GRANICZNY M., KOWALSKI Z., JURECZKA J. & CZARNOGÓRSKA M. 2005 — Terrafirma project — monitoring of subsidence of north-eastern part of the Upper Silesian Coal Basin. [In:] Proceedings of the conference "Mass movement hazard in various environments" October 20–21, 2005, Kraków, Poland. Pol. Geol. Inst. Special Pap., 20: 59–63.
- KRAWCZYK A., PERSKI Z. & HANSEN R. 2007 — Application of ASAR interferometry for Motorway Deformation Monitoring [In:] Lacoste H. & Uwehand L. (eds.) Proceedings of the Envisat Symposium 2007, 23–27 April 2007, Montreux, Switzerland. ESA Communication Production Office, ESTEC, Noordwijk (ESA SP-636, July 2007).
- WEGMÜLLER U. & STROZZI T. 1998 — Characterization of differential interferometry approaches. [In:] EUSAR'98, 25–27 May, Friedrichshafen, Germany. VDE-Verlag, Berlin–Offenbach: 237–240.
- WERNER C., WEGMÜLLER U., STROZZI T., WIESMANN A. & SANTORO M. 2007 — PALSAR Multi-Mode Interferometric Processing. [In:] Proceedings of the First Joint PI Symposium of ALOS data nodes for ALOS Science Program, 19–23 November 2007, Kyoto, Japan.

Praca wpłynęła do redakcji 25.04.2008 r.
Po recenzji akceptowano do druku 20.05.2008 r.