

Monitoring osiadań terenu pod wpływem eksploatacji górniczej metodą satelitarnej interferometrii radarowej

Zbigniew Perski, Ryszard Chybiorz, Jerzy Nita

Uniwersytet Śląski,
Zakład Kartografii Geologicznej
ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec

ABSTRACT

This paper presents detailed analysis of interferometric maps of subsidence in Upper Silesian Coal Basin. For the period of one year (from October 1997 to October 1998) the subsidence map have been calculated based on leveling observations. For the same period another subsidence map have been processed from five ERS SAR interferograms. The comparison of these data shows that the range and extents of subsidence pattern strictly correlates however, there are large differences in amount of subsidence. This research has been carried under European Space Agency project AO3-127. The agreement between University of Silesia and Marshal Office of Silesia Province allows performing the analyses towards to integration of interferometric data with regional GIS system of Silesia.

WSTĘP

Prace badawcze dotyczące zastosowań satelitarnej interferometrii radarowej w badaniach deformacji powierzchni terenu są prowadzone w Zakładzie Kartografii Geologicznej Katedry Geologii Podstawowej Uniwersytetu Śląskiego od 1998 roku. Dzięki nawiązaniu współpracy z Europejską Agencją Kosmiczną uzyskano dostęp do zobrażeń radarowych z europejskich satelitów ERS-1 i ERS-2. Dane te są przetwarzane i opracowywane w Katedrze, gdzie wypracowano już szereg nowatorskich metod ich interpretacji (Perski, Jura 1999, Krawczyk, Perski 2000, Perski 2000). Podpisanie w 2000 roku porozumienia o współpracy w dziedzinie prowadzenia badań naukowych pomiędzy Uniwersytetem Śląskim a Urzędem Marszałkowskim Województwa Śląskiego umożliwiło realizację projektu mającego przetestować możliwość wykorzystania wyników opracowania danych interferometrycznych dla potrzeb regionalnego SIP (Systemu Informacji Przestrzennej). Ostateczna forma danych wynikowych musiała spełniać warunki techniczne pozwalające na ich pełną integrację z regionalnym SIP Wydziału Geodezji Urzędu Marszałkowskiego Województwa Śląskiego.

Ostatecznie, powstałe opracowanie stanowi operat cyfrowych danych i map tematycznych przedstawiających zagadnienia związane z osiadaniem terenu dla wybranego obszaru testowego KWK Katowice-Kleofas uzyskanych dzięki przychylności dyrekcji kopalni i ścisłej współpracy z Działem Mierniczo-Geologicznym kopalni.

1. DANE KARTOGRAFICZNE

Dla prawidłowej interpretacji danych interferometrycznych konieczne jest ich dokładne zlokalizowanie w przestrzeni oraz dowiązanie do danych pomiarowych naziemnych. Bardzo ważną częścią procesu interpretacji jest konfrontacja danych interferometrycznych ze szczegółowymi danymi o eksploatacji podziemnej. Kopalnie węgla na Śląsku to także „kopalnie” bezcennych informacji o terenie, używanych dotychczas jedynie w niewielkim stopniu przez inne instytucje. Dla potrzeb regionalnego SIP, podstawowymi mankamentami map górniczych są układy współrzędnych, w jakich są one prowadzone. Są to zwykle układy lokalne np. układ Sucha Góra, dlatego też ich zastosowanie w regionalnym SIP wiąże się z ich transformacją na współrzędne globalne (Podlacha, Szeliga 1999). Opracowanie kartograficzne wykonano w Państwowym Układzie Współrzędnych 1992.

1.1. Materiały pozyskane z kopalń

Pozyskane materiały dotyczyły pól górniczych „Kleofas”(Ruch-1) i „Katowice” (Ruch-2), obejmujących obszar badań. Na potrzeby opracowania przeanalizowano ok. 260 map górniczych i innych opracowań kartograficznych. Wybrane materiały były skanowane, kalibrowane oraz zarejestrowane w Państwowym Układzie Współrzędnych 1992.

Do analiz wybrano dane za okres 1997- 1998. Były to: osiadania wg danych z kopalń za okres X.1997-X.1998, znaki obserwacyjne dla sieci niwelacyjnej na powierzchni terenu, dane o eksploatacji w pokładach, w których w latach 1997 - 1998 prowadzono eksploatację, granice filarów ochronnych, granice pól eksploatacji.

Na potrzeby opracowania stworzono bazę danych o eksploatacji zawierającą jedynie podstawowe dane zawarte na mapach górniczych. W strukturze bazy znalazły się rekordy opisowe dotyczące:

- eksploatacji (z polami opisowymi – *numer ściany*, *-kwartał*, *-rok*, *- średnia miąższość eksploatowanej warstwy*: w tym: *- miąższość skały płonnej*, *- miąższość węgla*).
- uskoków (z polami opisowymi – *nazwa uskoku*, *- pokład*, *- zrzut*, *- kąt upadu*, *- kopalnia*, *- uwagi*).

Wypełnienie tak zaprojektowanej bazy danych sprawiało jednak problemy ze względu na częsty brak pełnych informacji dla najstarszych eksploatacji.

1.2. Dane geodezyjne Urzędu Marszałkowskiego

Cyfrowe dane Urzędu Marszałkowskiego w układzie 1992 posłużyły do standaryzacji, rejestracji i transformacji danych kopalnianych oraz satelitarnych. W projekcie wykorzystano warstwę informacyjną zawierającą granice administracyjne miast w układzie współrzędnych 1992 do ustalenia punktów do rejestracji map kopalnianych. W ramach współpracy została udostępniona także ortofotomapa cyfrowa w układzie współrzędnych 1965 i cięciu arkuszowym dla map w skali 1: 5 000. Poszczególne fragmenty ortofotomapy zestawiono w całość i przetransformowano na układ 1992. Otrzymano w ten sposób pełne pokrycie obszaru opracowania ortofotomapą. Tak otrzymana ortofotomapa posłużyła do znajdowania obiektów

topograficznych mogących posłużyć do precyzyjnej rejestracji obrazów radarowych w układzie 1992.

1.3. Dane satelitarne

W ramach projektu zastosowano cyfrowe dane satelitarne pozyskane przy użyciu radaru bocznego wybierania typu SAR (*Synthetic Aperture Radar*) w paśmie C (5,3 GHz) z satelitów ERS-1 ERS-2. Łącznie wykorzystano 14 obrazów SAR obszaru Śląska.

Dane radarowe uzyskano od Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA) w ramach projektu AO-3 127: „InSAR for Land Subsidence Monitoring in the Upper Silesian Coal Mining Region, Poland”.

2. SATELITARNA INTERFEROMETRIA RADAROWA (InSAR)

Satelitarna Interferometria Radarowa (InSAR) to metoda teledetekcyjna wykorzystująca wzajemne przesunięcia fazy sygnału dwóch obrazów radarowych typu SAR tego samego obiektu wykonanych sekwencyjnie z nieznanymi różnymi pozycjami w czasie kolejnych nalołów. W oparciu o różnice fazy poszczególnych pikseli, które są różne wskutek różnej odległości obiekt – antena SAR dla obu skanowań radarowych, uzyskuje się informację o wartościach względnych rzędnej powierzchni terenu lub jej zmianach w czasie (Zebker, Goldstein 1986, Pratti et al. 1994). Obraz różnicy fazy dwóch obrazów SAR zwany interferogramem jest rezultatem komputerowego przetwarzania cyfrowych zapisów skanowań radarowych.

Do badań górnictwa deformacji powierzchni terenu wykorzystuje się system tzw. „differentail interferometry” (DInSAR), w którym interwał czasowy Δt pomiędzy wykonaniem kolejnych zobrazowań stwarza możliwość zaobserwowania zmian wysokościowych powierzchni terenu w czasie. W przypadku takiej konfiguracji zobrazowań SAR, znaczenia nabiera pozioma i pionowa różnica pozycji satelity w czasie wykonywania kolejnych zdjęć, którą określa się za pomocą tzw. odległości bazowej B . Wielkość odległości bazowej jest zależna od tzw. dryfu satelity i warunkuje stosowalność poszczególnych obrazów SAR dla interferometrii (Perski 2000).

2.1 Korelacja sygnału radarowego – koherencja

Koherencja jest to parametr określający proporcje różnic spektralnych (fazy i natężenia) dla poszczególnych pikseli dwóch obrazów SAR. Od wielkości tego parametru zależy czytelność generowanego interferogramu. Z doświadczeń praktycznych wynika, że dane o odległości bazowej większej niż 600 m wykazują już znaczny spadek koherencji wywołany różną geometrią zobrazowań. Utrata koherencji jest też silnie uzależniona od czasu, jaki upłynął pomiędzy wykonaniem kolejnych zobrazowań jak również zmian w środowisku, szczególnie dla akwenów wodnych, obszarów leśnych, upraw, i innych terenów pokrytych bujną roślinnością (Villasenor, Zebker 1992, Usai, Hanssen 1997, Perski 1999).

3. OPRACOWANIE I INTERPRETACJA WYNIKÓW

Przetwarzanie danych SAR odbywało się przy zastosowaniu procedur satelitarnej interferometrii radarowej dla określania górniczych deformacji powierzchni terenu (Perski 2000). W pierwszym etapie dostępne dane SAR pogrupowano w pary, które posłużyły do wygenerowania interferogramów. Łącznie uzyskano czternaście par, z których wygenerowano 14 interferogramów obejmujących łącznie okres od 07.1995 do 08.2000.

Celem takiego doboru danych ERS SAR było uzyskanie takich interferogramów, by możliwe było na ich podstawie odtworzenie zbiorczego obrazu deformacji terenu. W celu uzyskania jak najlepszej jakości obrazu zdecydowano się na wygenerowanie jak największej możliwej liczby interferogramów cząstkowych dobranych w ten sposób by zapewnić całkowite czasowe pokrycie założonego interwału czasowego.

Wygenerowane interferogramy charakteryzowały się bardzo zróżnicowaną koherencją. Na koherencję miały tu wpływ długość bazy czasowej i pora roku, w jakiej wykonano skanowania radarowe. Jakość każdego z interferogramów była dodatkowo zróżnicowana powierzchniowo z uwagi na charakter pokrycia terenu. Największe problemy napotkano na obszarach leśnych na południe od lotniska Muchowiec, oraz w części zachodniej, na obszarach leśnych Koszutka-Ligota. Ostateczne przetworzenie prążków interferometrycznych na izolinie osiadań odbywało się metodą interpretacji wizualnej gdyż jedynie w ten sposób możliwe było, choć częściowe odtworzenie informacji o osiadaniach w obszarach leśnych (Perski 1999). Tą metodą opracowano mapy przyrostów osiadań dla okresów równych bazie czasowej interferogramów. Z tak uzyskanych danych o osiadaniach wytworzono dla wszystkich interferogramów numeryczne modele przyrostów osiadań, z których możliwe było wygenerowanie obrazu zbiorczego.

Za podstawę analizy przyjęto mapę osiadania na obszarze KWK Katowice-Kleofas za okres październik 1997 – październik 1998. Mapy interferometryczne dla zbliżonego interwału czasowego uzyskano z pięciu interferogramów (Fig. 1).

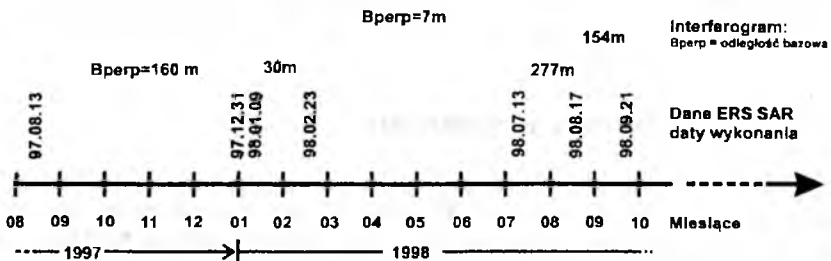


Fig. 1. Schemat generowania zbiorczej mapy osiadania na podstawie interferogramów ERS SAR

Ostatecznie interferometryczną mapę zbiorczą osiadania M_z obliczono w następujący sposób:

$$M_z = M_{160} \vee M_{30} \wedge M_{277} \wedge M_{154} \wedge [M_{7m} \wedge (M_{30} \wedge M_{277})]$$

Gdzie liczby w indeksie dolnym oznaczają wartość odległości bazowej dla par InSAR (Fig. 1)

Porównanie interferometrycznej mapy zbiorczej z mapą osiadań wykonaną na podstawie danych uzyskanych przez dział mierniczy KWK Katowice-Kleofas uwidoczniło szereg problemów (Fig. 2).

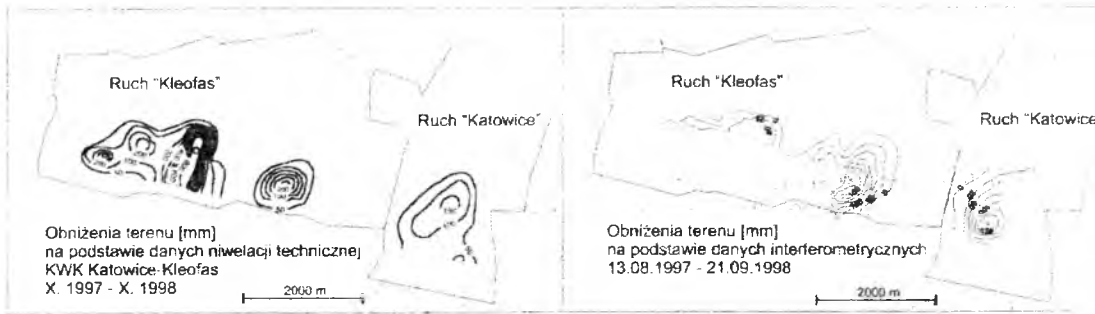


Fig. 2. Porównanie map osiadań terenu KWK Katowice-Kleofas

Obie mapy wykazały występowanie osiadań na tych samych obszarach i o zbliżonym kształcie. Bardziej złożony przebieg izolinii na mapie interferometrycznej pozwala sądzić, że obraz ten, powstały na podstawie danych powierzchniowych w bardziej wiarygodny sposób odzwierciedla kształt powstałego obniżenia. Jeśli chodzi o wielkość obniżenia terenu dane interferometryczne wykazały duże rozbieżności (nawet do 50%) na obszarach o dużych obniżeniach powyżej 200 mm (Fig. 2). Różnice powstały w wyniku utraty części informacji na interferogramach o dużej bazie czasowej w wyniku dekoherencji. W następnej części projektu zostanie przeprowadzona podobna analiza dla innych obszarów. Duże rozbieżności otrzymanych wyników zostały w dużym stopniu spowodowane małą liczbą wykorzystanych interferogramów oraz stosunkowo słabą ich jakością. W miarę dostępności danych SAR w przyszłości opracowanie interferometryczne zostanie uzupełnione dla uzyskania krótszych baz czasowych interferogramów i uzupełnienia pokrycia czasowego.

WNIOSKI

1. Występowanie obszarów osiadania terenu jest zgodne na obu mapach
2. Dane interferometryczne prezentują znacznie większą czułość w zakresach osiadania 0-100 mm aniżeli dane niwelacyjne
3. Z uwagi na niedostateczną jakość interferogramów dla dłuższych okresów maksymalne wartości osiadań uzyskane interferometrycznie są zaniżone w stosunku do danych górniczych
4. Mapy osiadań uzyskane interferometrycznie w sposób jakościowy w znacznie precyzyjniejszy sposób charakteryzują przestrzenny zasięg oraz kształt wytworzonych niecek osiadań aniżeli dane górnicze interpolowane z obserwacji punktowych.

UWAGI

Ze względu na ograniczoną objętość referatu i ograniczone możliwości druku w referacie pominięto zagadnienia dotyczące integracji danych i prezentacji map tematycznych. Materiały te zostaną zaprezentowane za pomocą Internetu pod adresem: <http://ultra.cto.us.edu.pl/~insar/>

Recenzował: prof. dr hab inż. Józef Beluch

LITERATURA

- Krawczyk A., Perski Z. 2000: Application of satellite radar interferometry on the areas of underground exploitation of copper ore in LGOM – Poland, 11th International Congress of the International Society for Mine Surveying, vol.2, 209-218, Kraków.
- Perski Z., Jura D., 1999: ERS SAR Interferometry for the Land Subsidence Detection in Coal Mining Areas, *Earth Observation Quarterly* 63, 25-29.
- Perski Z. 1999: Zakres interpretowalności osiadań terenu za pomocą satelitarnej interferometrii radarowej (InSAR). *Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji* vol. 9, 191-201.
- Z. Perski 2000: Zastosowanie satelitarnej interferometrii radarowej do określania dynamiki i zasięgu górniczych deformacji terenu na przykładzie wybranych obszarów Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Z Prac Katedry Geologii Podstawowej Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, (red. S. Ostaficzuk), *Prace WNoZ UŚ* nr 8, 9-40
- Pratti C., Rocca F., Monti Guarnieri A. Pasquali P., 1994: Report on ERS-1 SAR interferometric techniques and applications. ESA report 10179/93/YT/I/SC 1-122. Frascati.
- Usai, S. and Hanssen, R., 1997: Long time scale InSAR by means of high coherence features. *Proceedings of the Third ERS Symposium, Florence, Italy*. <http://florence97.ers-symposium.org/data/usai/index.html>
- Villasenor J., Zebker H. 1992: Temporal decorrelation in repeat-pass radar interferometry. *Proceedings of IGARSS'92*, 941-943.
- Zebker, H.A. and Goldstein, R.M., 1986: Topographic Mapping From Interferometry Synthetic Aperture Radar Observations. *Journal of Geophysical Research*, 91 (B5), 4993-4999.