

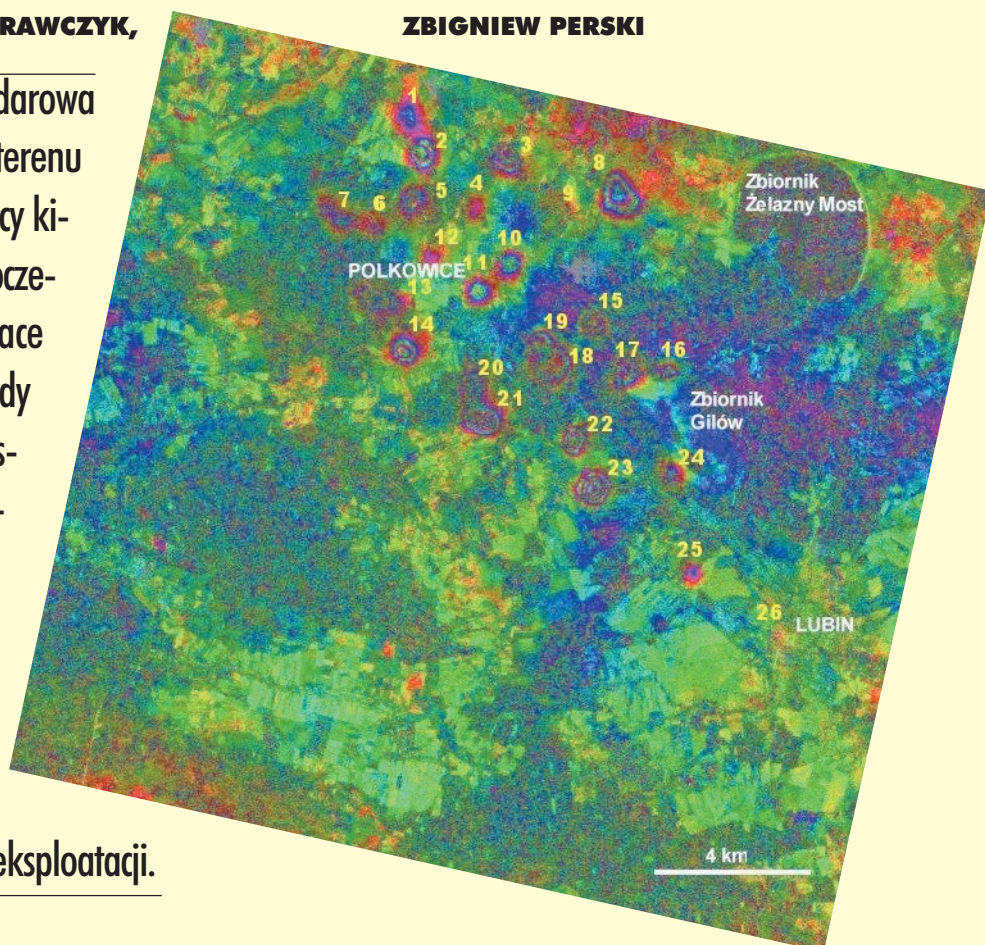
Zastosowanie satelitarnej interferometrii radarowej  
na terenach eksploatacji rud miedzi w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym

# Oknem radaru

**ARTUR KRAWCZYK,**

**ZBIGNIEW PERSKI**

Satelitarna interferometria radarowa umożliwia badanie obniżenia terenu na obszarze dziesiątków tysięcy kilometrów kwadratowych jednocześnie. Pierwsze w świecie prace nad zastosowaniem tej metody dla obszaru podziemnej eksploatacji rud miedzi w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym pozwoliły uzyskać obraz interferometryczny, który przedstawia dwumiesięczne przyrosty obniżenia terenu ponad parcelami eksploatacji.



Ciągły rozwój technologii teledetekcyjnych umożliwia pozyskiwanie coraz bardziej zróżnicowanych informacji o zjawiskach będących dotychczas domeną badań innych dyscyplin naukowych. Jedną z takich dziedzin jest ochrona terenów górniczych, w której w ostatnich latach w Polsce zaczęto stosować radarowe techniki satelitarne (Perski, 1998). Pozyskanie danych z obrazów radarowych polega na przetwarzaniu różnic fazowych dwóch obrazów, w wyniku czego uzyskuje się jeden obraz interferometryczny umożliwiający obserwację zmian wysokościowych powierzchni terenu. Pierwotnie zdjęcia te wykorzystywano do obserwacji ruchów skorupy ziemskiej (Gabriel i inni, 1989), wywołanych zarówno przez ruchy płyt kontynentalnych, jak i przez trzęsienia ziemi. Bardzo szybko wykazano dużą przydatność obrazów interferometrycznych do obserwacji zmian powierzchni terenu poddawanego wpływowi eksploatacji podziemnej. W Polsce pierwsze takie badania podjęto w 1997 roku na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego (Perski, 1998). Badania te

Rys. 1. Liczba i rozmieszczenie dynamicznych niecek obniżeniowych

potwierdziły wysoką wiarygodność danych interferometrycznych oraz szczególną ich przydatność zarówno do monitoringu środowiska, jak i śledzenia dynamiki osiadania terenu. Niniejsza praca jest pierwszym zastosowaniem metody interferometrycznej na obszarze Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego, gdzie eksploatacja podziemna, podobnie jak na Górnym Śląsku, wywołuje przemieszczenia i deformacje powierzchni terenu.

## Obszar badań

Na terenie Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM) znajduje się 7 obszarów górniczych, w których eksploatację prowadzą 3 zakłady. Łącznie obszary górnicze kopalń LGOM zajmują ok. 400 km<sup>2</sup>. W zasięgu wpływów bezpośredniej eksploatacji

znajdują się dwa miasta (Lubin i Polkowice) oraz kilkanaście wsi. W celu ochrony obiektów budowlanych na terenach miejskich oraz szybów górniczych zostały wyznaczone filary ochronne. Prowadzone od początku lat 60. wydobywanie rud miedzi spowodowało powstanie niecek obniżeniowych terenu wywołanych zarówno samą eksploatacją podziemną, jak i odwodnieniem górotworu. Wielkości obniżenia na terenie LGOM w obszarach intensywnego wydobywania, prowadzonego najczęściej systemem filarowo-komorowym z zawałem stropu, osiągają średnie wartości w granicach 2000-2600 mm. Wartość maksymalnego obniżenia zaobserwowana na obszarze górniczym „Polkowice II” wyniosła 3380 mm (Popiołek, 1998). Pomiar geodezyjne oraz wyliczenia teoretyczne wskazują, że średnia prędkość ujawniania się tego typu obniżenia nad eksploatacją zawałową nie przekracza 1,25 mm/dobę, a maksymalna – nie powinna przekroczyć 200% wartości średniej, czyli 2,5 mm/dobę (Ostrowski i inni, 1996).

Na obniżenia wywołane eksploatacją rudy miedzi nakładają się również zmiany wysokościowe powierzchni terenu powodowane tworzeniem się tzw. wielkopowierzchniowej niecki odwodnieniowej, której średnie wartości obniżenia od rozpoczęcia odwadniania złoża nie przekraczają 300 mm. Maksymalną wielkość obniżenia wywołanych odwodnieniem zanotowano w obszarze górniczym „Lubin I” i wyniosła ona 710 mm. Maksymalna prędkość narastania obniżenia nie przekroczyła 30 mm/rok, czyli około 0,085 mm/dobę (Popiołek, 1997). W praktyce przyjmuje się, że średnia wielkość obniżenia wywołanych odwodnieniem wynosi ok. 7-11 mm/rok, co daje 0,018-0,03 mm/dobę.

### Metodyka pomiarowa

Do utworzenia interferogramu zastosowano radarowe obrazy satelitarne typu SAR (Synthetic Aperture Radar). Radarogramy te wykonywane są przez satelitę ERS-1 Europejskiej Agencji Kosmicznej sekwencyjnie w czasie kolejnych nalołów. Polega to na rejestracji przez antenę SAR wysłanej przez satelitę i odbitej od powierzchni Ziemi fali radarowej. W trakcie rejestracji radarogramu zapisywane są informacje o intensywności odbicia fali oraz o jej fazie w momencie dotarcia do odbiornika. Informacje o intensywności odbicia (inaczej stopniu pochłaniania fali radarowej) przydatne są do tworzenia map zagospodarowania terenu. Natomiast w dziedzinie ochrony terenów górniczych istotną własnością radarogramów jest informacja o różnicach fazy fal w różnym czasie odbitych od tego samego obszaru. Zmiana fazy sygnału na radarogramie o pełny cykl 360° jest określona przez długość fali radarowej, która w przypadku wymienionych wcześniej satelitów wynosi 5,6 cm (FAO/ESA, 1993). Posiadając dwa radarogramy wykonane w różnym czasie, można znaleźć wartości fazy, o jakie różnią się te dwa sygnały. W efekcie otrzymujemy zmiany wysokościowe powierzchni terenu w postaci obrazu interferencyjnego, gdzie zmiana fazy o pełny cykl (360°) odzwierciedla ok. 2,8-centymetrową różnicę wysokości powierzchni terenu, jaka powstała w czasie pomiędzy wykonaniem kolejnych radarogramów. Ze względu na kąt padania fal radarowych trzeba uwzględnić poprawkę – zanotowanemu obniżeniu równemu 2,8 cm, mierzonemu wzdłuż kierunku padania fali Ziemia-satelita, odpowiada obniżenie powierzchni odbijającej o 2,58 cm w kierunku pionowym.

### Wykonane prace

Do badań wykorzystano dane o eksploatacji górniczej prowadzonej w LGOM w latach 1960-94 oraz mapy powierzchni terenu w skali 1:10 000. Na podstawie opisanych wcześniej wielkości i prędkości powstawania obniżenia terenu na obszarze LGOM osza-

cowano, że do wykonania ich pierwszej interferometrycznej obserwacji zostanie przyjęta baza czasowa równa 2 miesiące. W wyniku badań powinny zostać zaobserwowane niecki obniżeniowe nad eksploatacją zawałową o średniej wielkości zmian ok. 75 mm/60 dni (maksymalne obniżenie nie powinno przekroczyć 150 mm/60 dni). W tym czasie obniżenie niecki odwodnieniowej powinno wynieść średnio 1,5 mm.

Do analizy w ramach niniejszej pracy zostały wyselekcjonowane dwa radarogramy ERS SAR, spełniające poniższe kryteria:

- warunki meteorologiczne zostały sprawdzone dla stacji Polkowice Dolne – w wybranych dniach nie było pokrywy śnieżnej ani żadnych opadów;
- interferometryczna odległość bazowa była nie większa niż 100 m;
- baza czasowa wynosiła 60 dni.

W odniesieniu do powyższych kryteriów wyselekcjonowano ostatecznie dwa obrazy SAR SLC. Niewielkie rozmiary obszaru badań sprawiły, że wystarczyło zamówienie południowo-wschodniej ćwiartki z pełnego kadru obrazu. Radarogramy zostały wykonane podczas fazy D misji satelity ERS-1 („second ice phase” – zopty-

	ORBITA	DATA	Baza czasowa	Bperp
Obraz MASTER	12921	10.01.1994	60 dni	24 m
Obraz SLAVE	13867	11.03.1994		

Tab. Charakterystyka wyselekcjonowanych danych – Satelita: ERS-1, typ danych: SAR SLC quarter

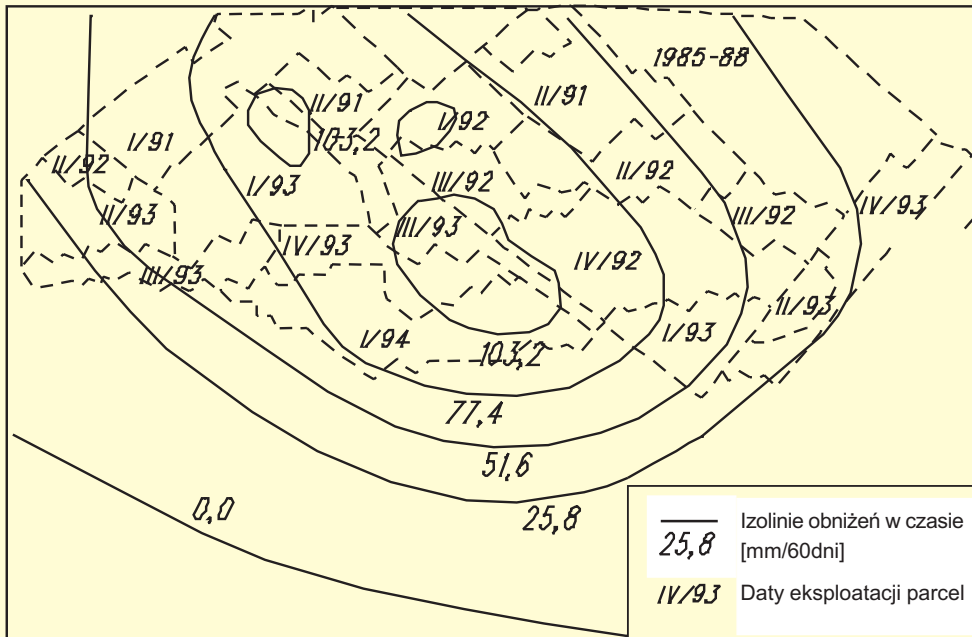
malizowanej dla eksperymentów arktycznych). Satelita pracował w 3-dniowym cyklu obrazowania sekwencyjnego.

W Katedrze Geologii Podstawowej Uniwersytetu Śląskiego za pomocą oprogramowania EarthView (Atlantis, 1997) z wyżej przedstawionych radarogramów wykonano jeden interferogram. Niewielka wartość odległości bazowej i stosunkowo niewielkie deniwelacje terenu pozwoliły na zaniechanie wpływu topografii terenu na obraz interferometryczny. W niektórych częściach obrazu jest jednak widoczny tzw. efekt atmosferyczny w postaci regionalnego trendu zmiany fazy. Nie wpływa to jednak znacząco na jakość otrzymanych wyników (rys.1).

Już etap przetwarzania wstępnego pokazał, że wyselekcjonowane dane prezentują bardzo wysoką jakość, na co wskazują wartości koherencji bliskie 1. Tak wysoka jakość danych interferometrycznych dla podobnych obszarów rolnych w Europie Środkowej jest – ze względu na warunki klimatyczne – rzadkością, nawet w przypadku 35-dniowych baz czasowych (Perski, 1999a).

W pierwszym etapie przetwarzania zdecydowano się na interferometryczne przetwarzanie całej ćwiartki radarogramu. Umożliwiło to sprawdzenie, gdzie dokładnie znajdują się miejsca występowania obniżenia terenu dla wyselekcjonowania ostatecznego fragmentu obrazu do przetwarzania. Stwierdzono, że prążki interferencyjne wywołane obniżeniami terenu występują jedynie w północnej części, co doskonale koreluje z zasięgiem obszarów górniczych LGOM. Ostatecznie do właściwego przetwarzania wybrano obszar 1580 x 1530 pikseli.

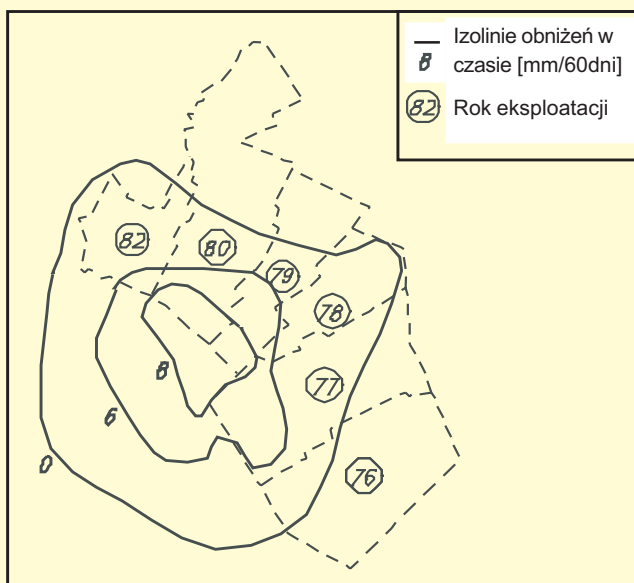
Następnie zarówno radarogramy, jak i interferogram, zaimportowano do środowiska Systemu Informacji o Terenie Górniczym (Popiołek, 1993; Piwowarski i Krawczyk, 1999) i tam dokonano interpretacji danych. W trakcie przetwarzania znaczącym problemem okazało się wpasowanie niezwykle precyzyjnego (co do wartości składowej pionowej) obrazu interferometrycznego w układ współrzędnych poziomych x, y, dla których dokładność wyznaczania ograniczona jest wielkością piksela równą 20 m x 20 m.



Rys. 2. Niecka obniżeniowa nr 21

## Związek interferogramów z eksploatacją górniczą

W wyniku analizy interferogramu zlokalizowano 26 dynamicznych skłonów niecek obniżeniowych. Po wpasowaniu interferogramu w układ współrzędnych „Pieszkowice” przystąpiono do analizy korelacji występowania niecek obniżeniowych z parcelami eksploatacji. W wyniku analizy ustalono, że centra 24 niecek obniżeniowych występują na granicach eksploatacji prowadzonej w IV kwartale 1993 r. i I kwartale 1994 r. Natomiast pozostałe dwie niewielkie niecki obniżeniowe zaobserwowano w sąsiedztwie starych zrobów. Na terenie Obszaru Górniczego „Sierszowice I” zaobserwowano 4 dynamiczne niecki obniżeniowe nr: 1, 2, 5, 7. Obniżenie żadnej z tych niecek nie przekroczyło 70 mm/60 dni. Ogólnie, w badanym okresie obniżeniom podlegał teren o powierzchni ok. 342,8 ha.



Rys. 3. Niecka obniżeniowa nr 12

Na terenie OG „Polkowice II” zaobserwowano 6 niecek obniżeniowych o numerach: 6, 13, 14, 20, 21, 22 oraz 12. Najgłębsza jest tam dynamiczna niecka obniżeniowa numer 21. W ciągu 60 dni obniżyła się ona o ok. 110 mm. Na rysunku 2. przedstawiono omawianą nieckę oraz kształt i rozmieszczenie parcel eksploatacji.

Podobnie jak niecka 21, wszystkie pozostałe były bezpośrednio związane z eksploatacją z przełomu lat 1993-94. Jedynie stosunkowo płytka niecka nr 12 nie była związana z bieżącą eksploatacją. Wykształciła się ona nad obszarem eksploatacji z lat 1976-82 (rys. 3). Pewnym wyjaśnieniem może być informacja, że w roku 1994 w bezpośrednim sąsiedztwie starych zrobów była wykonywana rozczinka złoże przygotowująca parcele do eksploatacji w latach 1995-98. Pozwała to na wysunięcie hipotezy o związku występowania omawianej niecki z przygotowaniem złoże do eksploatacji.

Na terenie OG „Rudna I” zaobserwowano 9 niecek obniżeniowych. Ze względu na prowadzenie przez O/ZG „Rudna” eksploatacji w filarze ochronnym miasta Polkowice porównano tempo przyrostu obniżeń w obszarze filaru z obniżeniami na pozostałym terenie. Jak wykazała analiza interferogramu, w czasie badań była prowadzona eksploatacja, która spowodowała powstanie dwóch dynamicznych skłonów niecek obniżeniowych nr 10 i 11. Średnie obniżenie tych niecek wyniosło ok. 25 mm/60 dni. Wszystkie pozostałe niecki na obszarze O/ZG „Rudna”, których powstanie bezpośrednio wiąże się z eksploatacją z lat 1993-94, osiągnęły średnie obniżenie ponad 50 mm/60 dni. Na rysunku 4. przedstawiono nieckę numer 10.

Ponadto na omawianym obszarze pomiędzy szybami R-VII i R-IX, zarejestrowano największą pod względem powierzchni, pojedynczą nieckę obniżeniową nr 8. Obejmuje ona swym zasięgiem ok. 199 ha. W OG „Lubin” zaobserwowano wystąpienie dynamicznych skłonów niecek obniżeniowych o numerach: 16, 23, 24, 25 i 26. Niecka nr 26 wystąpiła na granicy Obszarów Górniczych „Lubin I” i „Małomice I”. Wszystkie pozostałe niecki wykształciły się w granicach OG „Lubin I”. Najgłębsza zarejestrowana niecka, oznaczona numerem 23, w ciągu 60 dni obniżyła się o około 110 mm. Na obszarach górniczych „Rudna II” i „Radwanice Wschód” w pierwszym kwartale 1994 nie zaobserwowano żadnych niecek obniżeniowych.

## Szczegółowe wnioski z badań przeprowadzonych w LGOM

1. Omawianą metodę pomiarów obniżeń możemy zakwalifikować jako niegeodezyjną technikę pomiarów deformacji ciągłych terenu wywołanych górniczą eksploatacją podziemną.
2. Wpasowanie interferogramów w istniejące górnicze mapy powierzchni terenu, które wykonywane są w skalach 1:10 000 i większych, jest bardzo trudne do zrealizowania – bardziej przydatne do tego celu są mapy w skalach 1:25 000 i mniejszych.

3. Do interpretacji całego obszaru LGOM obecnie wystarczy pozyskanie 1/4 kadru obrazu satelitarnego. W przypadku podjęcia w przyszłości eksploatacji w północnej części OG „Sieroszowice I” oraz wschodniej części OG „Małomice I” konieczne byłoby pozyskiwanie całego kadru obrazu satelitarnego.

4. Zaobserwowano 24 dynamiczne skłony niecek obniżeniowych, których powstanie wiąże się bezpośrednio z prowadzeniem eksploatacji ostatniego kwartału 1993 r. i pierwszego kwartału 1994 r.

5. Wszystkie zaobserwowane niecki obniżeniowe nadają się do dalszej interpretacji. Ze względu na rodzaj zagospodarowania terenu, przede wszystkim z uwagi na tereny leśne, niecki charakteryzują się różnym poziomem trudności w ich interpretacji.

6. Zaobserwowane obniżenia niecek nad terenami eksploatowanymi systemem zawałowym w ciągu 2 miesięcy osiągnęły maksymalną wartość ok. 110 mm (1,83 mm/dobę) i nie przekroczyły przewidywanej wartości maksymalnej 2,5 mm/dobę.

### Korzyści

Wykonane badania skłoniły autorów do przeprowadzenia rozważań dotyczących szerszego aspektu wykorzystania interferometrii satelitarnej w ochronie terenów górniczych. Można zwrócić uwagę na pewne korzyści oraz ograniczenia prezentowanej metody badań. Jednak przed przejściem do ich omówienia niezbędne jest wypuklenie trzech szczególnie istotnych własności tej metody:

**1. niezależność pomiaru** – zarówno zakłady górnicze, jak i gminy położone na terenach górniczych mogłyby wykorzystać ją do pozyskiwania informacji o rejonie występowania obniżeń, ich zasięgu oraz wielkości;

**2. koszt pomiaru** – cena zakupu dwóch radarogramów wynosi aktualnie ok. 8000 zł, a w przypadku okresowej umowy cena spada o 20-40%;

**3. częstotliwość wykonywanych pomiarów** – radarogramy określonego obszaru kuli ziemskiej obecnie są możliwe do wykonania w interwałach 35-dniowych.

W praktyce możemy przyjąć, że zastosowanie tej metody może przynieść następujące korzyści:

1. jak wykazano, możliwe jest monitorowanie eksploatacji w filarach ochronnych miast;

2. niezwykle łatwe jest stworzenie na podstawie interferogramów map izolinii obniżeń w badanym okresie, a ciągłość pozyskiwania informacji może wydatnie podnieść dokładność wykreślania map eksploatacji dokonanej;

3. szczególnie atrakcyjna jest możliwość uzyskania tanich pomiarów o stosunkowo wysokiej częstotliwości (w porównaniu np. do cykli rocznych) obniżeń, do monitorowanie tempa ich przyrostu.

### Ograniczenia i jak je pokonać

Oczywiście, podejmując kroki w celu stałego stosowania metody do badań obniżeń terenu, należy mieć na uwadze pewne uwarunkowania omawianej metody. Na pewno pierwszy okres badań musi być przeznaczony na wykonanie interpretacji obszarów i okresów najlepszej stosowalności metody. Ponadto występują pewne zależności od techniki satelitarnej:

1. istnieje konieczność zachowania stałej bazowej – pozycje satelity podczas kolejnych pomiarów tego samego obszaru powinny być identyczne; w rzeczywistości, pomimo najlepszego systemu kontroli orbit satelitów ESA, wielokrotnie występujące odchyłki orbit są zbyt duże dla interferometrii;

2. rejestracja danych musi być wcześniej zamawiana, gdyż SAR nie pracuje w sposób ciągły;

3. niezbędna jest decyzja ESA dotycząca kontynuacji programu satelitarnych obserwacji radarowych;

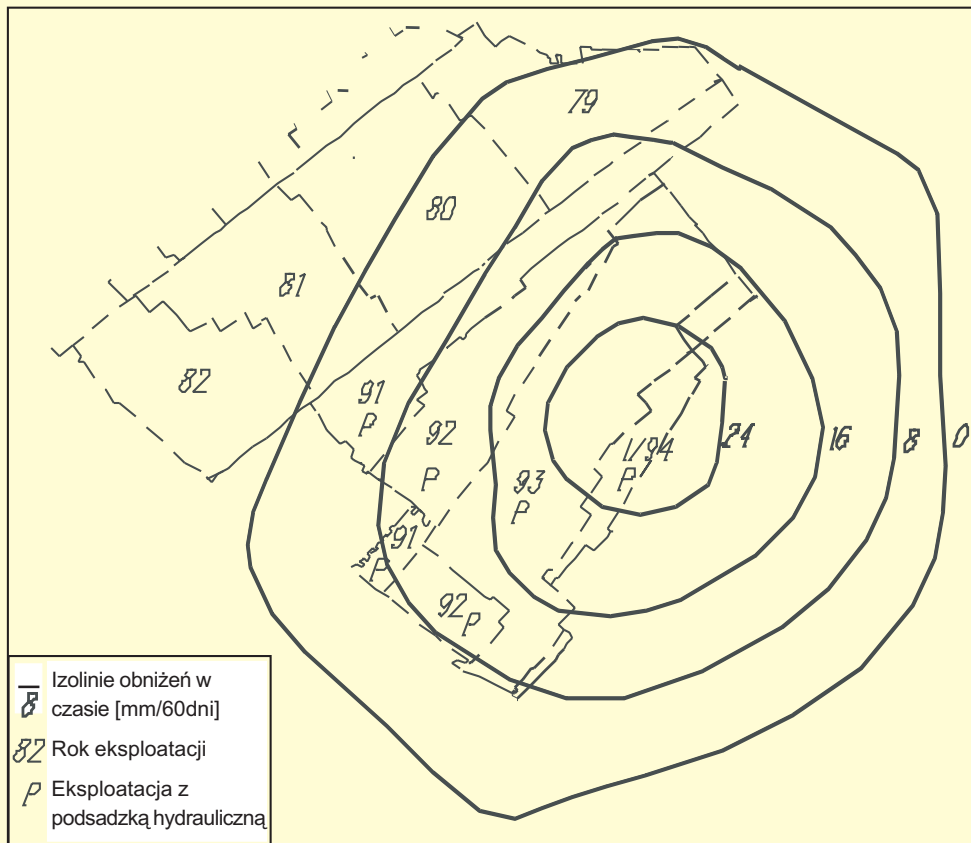
4. zagrożenie stanowi przypadkowa utrata/awaria satelity.

Kolejną cechą omawianej metody jest zależność pomiarów od warunków wykonywania zdjęcia:

■ ogólnie warunki atmosferyczne mają bardzo istotny wpływ na jakość interferogramów. Zjawiska atmosferyczne, takie jak pokrywa śnieżna czy w ogóle wszelkiego typu opady atmosferyczne, bardzo utrudniają wykonanie wiarygodnego interferogramu;

■ lasy skutecznie ograniczają możliwość penetracji terenu przez stosowane fale radarowe (ze względu na długość fal). Ponadto intensywna wegetacja w okresie wiosennym niekorzystnie wpływa na jakość interferogramu (Perski, 1999a).

Ostatnim czynnikiem, który był już tutaj omawiany, jest niska dokładność pomiarów poziomych, co powoduje, że uzyskane obrazy interferogramów są dość trudne do prawidłowego wpasowania w lokalny układ współrzędnych.



Rys. 4. Niecka obniżeniowa nr 10

Analizując powyższe ograniczenia, należy również mieć na uwadze, że już 10 lat upłynęło od wystrzelenia pierwszego europejskiego cywilnego satelity ERS-1 przeznaczonego do wykonywania satelitarnych zdjęć radarowych. W tym okresie zarówno zdjęcia radarowe, jak i interferometryczne znalazły szereg zastosowań, m.in. do monitorowania ruchów skorupy ziemskiej, obserwacji aktywności wulkanicznej, budowy modelu terenu, monitorowania upraw rolniczych i obserwacji przyrodniczych. Tak szeroka gama zastosowań radarogramów stała się przyczyną podjęcia przez ESA decyzji o kontynuacji programu obserwacji radarowych naszego globu. W 1995 roku wystrzelono drugiego satelitę tego samego typu o nazwie ERS-2. W 1999 roku ERS-1 zakończył swoją misję. Obecnie przygotowany jest następca ERS-2 – satelita Envisat-1. Perspektywa kontynuacji obserwacji radarometrycznych skłania do podjęcia działań eliminujących dotychczasowe ograniczenia metody. Na przykład ewentualne zastosowanie naziemnych reflektorów radarometrycznych (o znanych współrzędnych) w czasie wykonywania radarogramu pozwoliłoby na znaczne poprawienie jakości wpasowania interferogramu w wybrany układ współrzędnych. Zamawianie zdjęć satelitarnych na krótko przed ich wykonaniem daje pewność co do warunków atmosferycznych i przyrodniczych (wegetacja, pokrywa śnieżna).

Jak widać z niniejszych rozważań, możliwości wykorzystania opisanej technologii nie zostały jeszcze wyczerpane, a dotychczasowe efekty wskazują na duże możliwości praktycznego zastosowania interferometrii w dziedzinie ochrony terenów górniczych w LGOM.

**Artur Krawczyk** jest doktorantem w Katedrze Ochrony Terenów Górniczych Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej dr **Zbigniew Perski** jest adiunktem w Katedrze Geologii Podstawowej Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego

#### Literatura:

Atlantis, *EarthView InSAR version 1.1.0 User's Guide*, Atlantis Scientific Inc., Ontario 1997;

ESA 1995, *Satellite Radar in Agriculture*, ESA raport SP-1185, (red: Tan-Duc Guyenne), 1-71, Noordwijk;

**Gabriel A. K., Goldstein R. M., Zebker H. A.**, *Mapping small elevation changes over large areas: differential radar interferometry*, „Journal of Geophysical Research: Solid Earth and Planets”, vol. 94, No. B7, pages 9183-9191; July 10, 1989;

**Kwiatkiewicz J.** (red.), *Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych*, Wyd. GIG, Katowice 1997;

**Massonnet D., Feigl K. L.**, *Radar interferometry and its application to the changes in the Earth's surface*, „Reviews of Geophysics”, vol. 36, No. 4, 1998;

**Ostrowski J. i inni**, *Dynamika ujawniania się bezpośrednich wpływów dokonanej eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu O/ZG Rudna*, AGH Kraków 1997 (praca niepublikowana);

**Ostrowski J.** (red.), *Ochrona środowiska na terenach górniczych*, Wyd. Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Kraków 1998;

**Perski Z.**, *Applicability of ERS-1 and ERS-2 InSAR for Land Subsidence Monitoring in the Silesian Coal mining region, Poland*, „International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing”, vol. 32, No. 7, 1998;

**Perski Z., Jura D.**, *ERS SAR Interferometry for Land Subsidence Detection in Coal Mining Areas*, „Earth Observation Quarterly” No. 63, 1999;

**Perski Z.**, *Zakres interpretowalności osiadań terenu za pomocą satelitarnej interferometrii radarowej (InSAR)*, Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji, vol. 9, 191-201, 1999a;

**Perski Z.**, *ERS InSAR data for Geological Interpretation of Mining Subsidence in Upper Silesian Coal Basin in Poland*, Second International Workshop on ERS SAR Interferometry FRINGE '99, <http://www.esrin.esa.it/fringe99/> (30 Mar. 2000), 1999;

**Piwoński W., Krawczyk A.**, *Koncepcja Geoprzestrzennego Systemu Informacji o Terenie Górniczym*; Materiały V Konferencji „Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych”, Szczyrk 1999;

**Popiołek E.**, *Ochrona terenów górniczych*, skrypt AGH nr 1172, Kraków 1989;

**Popiołek E. i inni**, *Projekt PB 376/9/91 Przeciwdziałanie szkodom górniczym w oparciu o numeryczne metody optymalizacji wydobycia złóż kopalin użytecznych*, KBN Zespół S6 AGH, Kraków 1993 (maszynopis);

**Popiołek E. i inni**, *Analiza rozwoju wielkopowierzchniowej niecki obniżeniowej terenu na obszarze LGOM wywołanej odwodnieniem warstw trzeciorzędowych i czwartorzędowych*, AGH, Kraków 1997 (praca niepublikowana);

**Popiołek E.**, *Analiza dotychczasowych wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu LGOM w oparciu o wyniki obserwacji geodezyjnych od początku eksploatacji do 31.12.1997 obszarze wywołanej odwodnieniem warstw trzeciorzędowych i czwartorzędowych*, AGH, Kraków 1998 (praca niepublikowana);

**Stow R., Reddish D., Wright P., Peace S., Doyle G.S., Wilkinson A.J., Inggis M.R.**, *Geotechnical applications of SAR interferometry*, Second International Workshop on ERS SAR Interferometry FRINGE '99, <http://www.esrin.esa.it/fringe99/> (30 Mar. 2000), 1999;

**Stroziński T., Tosi L., Wegmüller U., Galgaro A.**, *Monitoring Land Subsidence in the Euganean Geothermal Basin with Differential SAR Interferometry*, Second International Workshop on ERS SAR Interferometry FRINGE '99, <http://www.esrin.esa.it/fringe99/> (30 Mar. 2000), 1999.

## Programy dla małych firm geodezyjnych

*proste, niedrogie, przystępne*

### WinKalk

program obliczeniowy



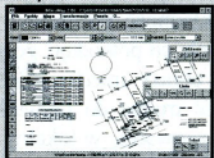
### WinKalk

- Jeden z najpopularniejszych programów na rynku - 2000 użytkowników!
- Ponad 30 funkcji obliczeniowych (wszystkie typowe obliczenia geodezyjne, w tym projektowanie działek, obliczanie mas ziemi, stanowiska swobodne).
- Współpraca z 20 typami rejestratorów, komfortowa edycja danych.
- Wyrównanie ściśle - sieci do 1000 punktów.
- Raporty i szkice - także w skali.
- Nie wymaga szkolenia - siadasz i liczysz.

**Cena: 300 do 500 zł**

### MikroMap

program do tworzenia map i szkiców



### MikroMap

- Powszechnie uważany za najłatwiejszy w obsłudze program graficzny.
- Duże możliwości montażu mapek, standardowe formularze.
- Idealny do małych prac kreślarskich.
- Import i eksport DXF, EWMAPA, GEO-MAP, SWING.
- Warstwice, przekroje, rastry, tabelki.

**Cena: 200 do 300 zł**



**CODER** - Firma Informatyczna  
ul. Polna 3, 05-806 Komorów  
tel./fax (022) 759 12 18  
tel. kom. 0-601 21 47 46  
<http://www.coder.atomnet.pl>  
e-mail: [coder@coder.atomnet.pl](mailto:coder@coder.atomnet.pl)

ZAMÓWIENIE PRZEZ TELEFON - DOSTAWA W TRZY DNI! PRZY ZAMÓWIENIU WIĘCEJ NIŻ JEDNEJ KOPII - ZNIŻKI AŻ DO 50%