

## Wykorzystanie satelitarnej interferometrii radarowej do badań osuwisk w polskiej części Karpat

Tomasz Wojciechowski<sup>1</sup>, Zbigniew Perski<sup>1</sup>, Antoni Wójcik<sup>2,1</sup>



T. Wojciechowski Z. Perski

A. Wójcik

Use of SAR interferometry for the study of landslides in Polish Carpathians. *Prz. Geol.*, 56: 1087–1091.

*A b s t r a c t.* The paper presents preliminary results of possible application of SAR interferometry in the studies of landslides. Two areas have been selected: Wieliczka and Nowy Sącz. The application of InSAR (SAR Interferometry) in the Carpathians is difficult due to rough topography, vegetation and long season with the snow cover. Such problems may be overridden by applying PSInSAR (Persistent Scatterers SAR Interferometry) which utilizes long time series of the SAR data. PSInSAR was used for both areas. Obtained sets of PS points show evidence of the landslide movement. The most reliable points were then used in quantitative cartographic study to qualify activity of

slopes. Analysis of landslide dynamics was performed for the area of Wieliczka where, for instance, a landslide velocity movement in Lednica Górna reaches 74.8 mm/yr. The preliminary results are very promising for the development of PSInSAR methodology in the study of landslides in Poland.

**keywords:** SAR interferometry, persistent scatterers, landslides, Carpathians

Liczba osuwisk w polskiej części Karpat, szacowana obecnie na co najmniej 23 000 (Rączkowski, 2007), może wynosić nawet 50 000 (Grabowski, 2008). Taka liczba robi wrażenie, zwłaszcza gdy jest brana pod uwagę w kontekście zagrożeń, jakie niosą za sobą ruchy masowe. Istnieje zatem zapotrzebowanie na poszukiwanie i rozwijanie coraz nowszych metod pomiarowych umożliwiających wyznaczanie stref osuwiskowych oraz pozwalających określić ich dynamikę.

Jedną z najszybciej rozwijających się dziedzin mierzniczych jest satelitarna interferometria radarowa InSAR. Ta teledetekcyjna metoda pozwala określić zmiany zachodzące na powierzchni terenu z milimetrową dokładnością, co jest dużą zaletą w przypadku badania subtelných przemieszczeń koluwiów na zboczach. Tradycyjna interferometria InSAR to technika polegająca na pomiarze różnicy fazy sygnału radarowego dwóch obserwacji typu SAR (*Synthetic Aperture Radar*) tego samego obszaru przedstawionej na interferogramie radarowym. W obszarach górskich napotyka ona jednak spore trudności związane z dekorelacją sygnału radarowego spowodowaną przede wszystkim dużymi deniwelacjami terenu, zmianami atmosferycznymi i pokryciem szatą roślinną (Vietmeier i in., 1999; Delacourt i in., 2003). Częściowym rozwiązaniem tego problemu jest metoda PSInSAR, która poprzez wykorzystanie dużych serii pomiarowych pozwala wyznaczyć deformacje w punktach zwanych stabilnymi rozpraszaczami (PS), charakteryzującymi się stabilną fazą sygnału radarowego (Ferretti i in., 2001; Perski i in., 2006). Obie techniki są już stosowane do badań osuwisk (Fruneau i in., 1996; Vietmeier, i in., 1999; Colesanti i in., 2003; Hilley i in., 2004; Colesanti & Wasowski, 2006). Przegląd meto-

dyki InSAR można znaleźć w pracach Massonneta i Feigla (1998), Rosena i in. (2000), a PSInSAR — Ferrettiego i in. (2001), Perskiego i Mroza (2007) oraz Porzyckiej i Leśnika (2007).

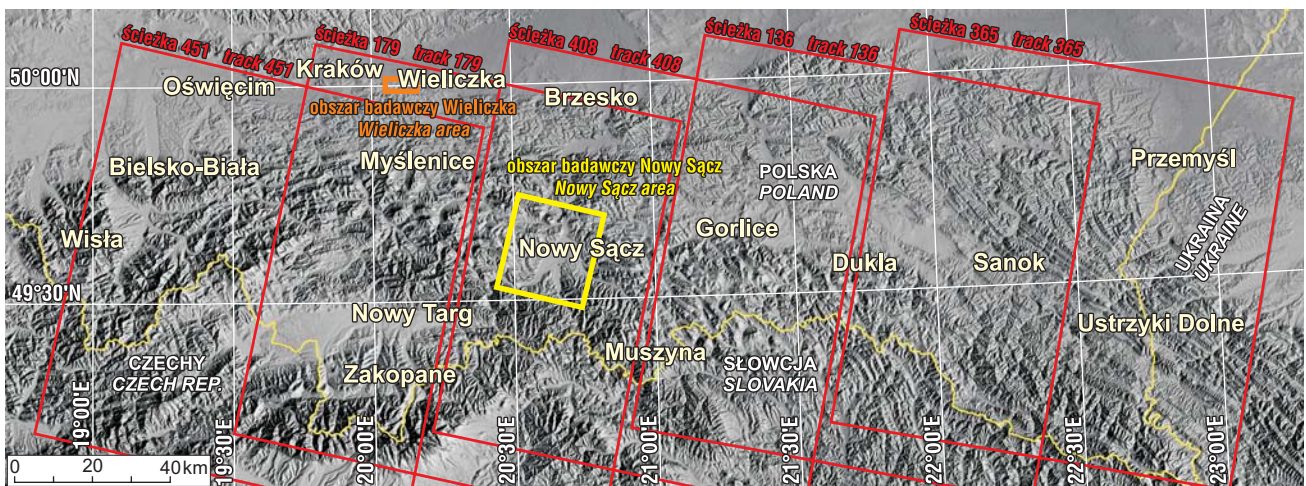
Satelitarna interferometria radarowa była już z powodzeniem stosowana w Polsce, jednak problematyka dotyczyła powierzchniowych deformacji powierzchni terenu na Górnym Śląsku (Perski & Jura, 1999) i na obszarze Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (Krawczyk & Perski, 2000). Prowadzone są również prace nad interferometrycznymi pomiarami współcześnie zachodzących naturalnych ruchów powierzchni terenu na obszarze Polski w ramach projektu GEO-IN-SAR (Perski & Mróz, 2007) oraz w ramach uczestnictwa Państwowego Instytutu Geologicznego w międzynarodowym konsorcjum *Terra-firma* (Graniczny i in., 2005; Czarnogórska i in., 2008). Niniejszy artykuł przedstawia dotychczasowe wyniki badań nad wykorzystaniem satelitarnej interferometrii radarowej w badaniach osuwisk prowadzonych w ramach projektów badawczych MNiSW (m.in. *Geologiczna analiza osuwisk z wykorzystaniem satelitarnej interferometrii radarowej na przykładzie wybranych obszarów Karpat*) oraz wspomnianego już projektu GEO-IN-SAR. W projekcie zostały przewidziane dwa poligony badawcze *Wieliczka* i *Nowy Sącz* (ryc. 1), które charakteryzują się występowaniem osuwisk w obrębie Pogórza Karpackiego (Oszczypko & Wójcik, 1993; Wójcik & Mrozek, 2002).

### Obszar badań

Badania zostały przeprowadzone na poligonach badawczych (ryc. 1) charakteryzujących się wyższą koherencją sygnału radarowego w stosunku do całego obszaru objętego danymi satelitów ERS (*Earth Resources Satellite*). Obszar *Wieliczka*, usytuowany na południe od miasta, obejmuje północne zbocza Pogórza Wielickiego. Pod względem osuwisk został on scharakteryzowany przez Wójcika i Mrozek (2002). Osuwiska te są aktywne, co przejawia się poprzez uszkodzenia obiektów budowlanych

<sup>1</sup>Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec; [twojcie@wnoz.us.edu.pl](mailto:twojcie@wnoz.us.edu.pl); [zbigniew.perski@us.edu.pl](mailto:zbigniew.perski@us.edu.pl)

<sup>2</sup>Państwowy Instytut Geologiczny, Oddział Karpacki, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków; [antoni.wojcik@pgi.gov.pl](mailto:antoni.wojcik@pgi.gov.pl)



Ryc. 1. Pokrycie polskiej części Karpat obrazami z satelitów ERS  
 Fig. 1. The coverage of ERS images for the Polish part of the Carpathians

oraz odcinków dróg. Sytuacja może być niebezpieczna, gdyż zbocza są zabudowane. Wskaźnik osuwiskowości tego obszaru wynosi 19,27% (Wojciechowski, 2008). Drugi obszar badawczy, roboczo nazwany *Nowy Sącz*, obejmuje obrzeżenie Kotliny Sądeckiej oraz Pogórze Łącko-Podegrodzkie. Na tym obszarze rozpoznano około 300 osuwisk różnej wielkości, z których wiele wykazuje aktywność.

### Metodyka

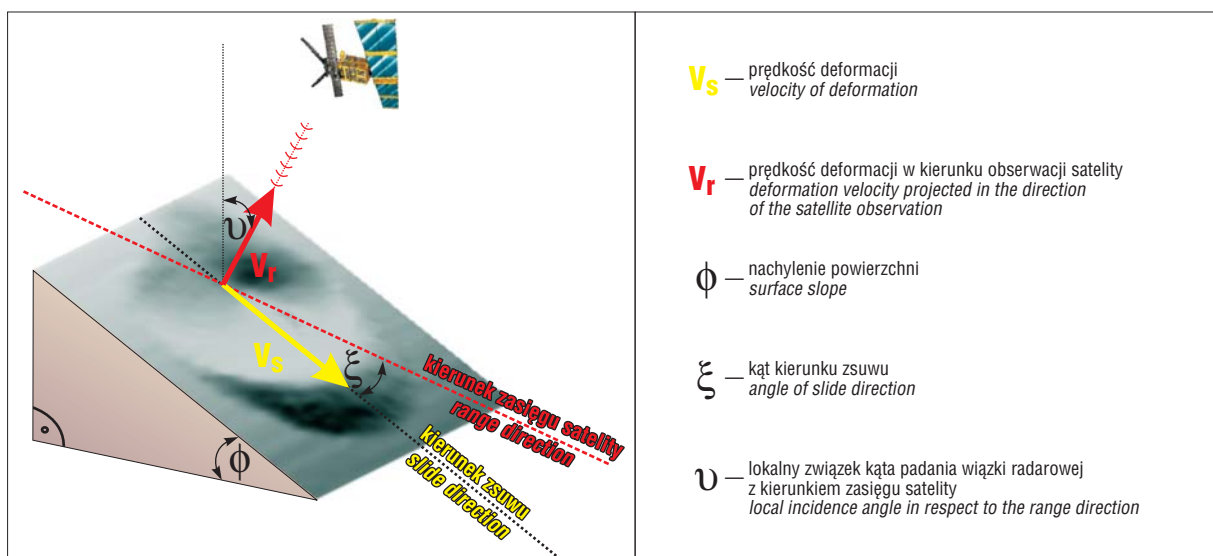
Do badań wykorzystano serię 51 zobrażeń radarowych ERS-1 i ERS-2 pochodzących ze ścieżki 179 (ryc. 1). Dane te reprezentują 7,5-letnią rozpiętość czasową, zawartą między 18 czerwca 1992 r. a 17 grudnia 2000 r. Dla orbit zstępujących przelotów satelitów ERS wiązka radarowa kierowana jest w stronę powierzchni Ziemi z kierunku 98,5°, pod kątem 67° względem płaszczyzny poziomej. Informacja ta ma szczególne znaczenie, gdyż umożliwia pomiar prędkości osuwisk. Należy mieć na uwadze, że deformacja obliczona w sposób interferometryczny jest

wynikiem pomiaru prędkości zmian obserwowanych na powierzchni terenu w kierunku sensor satelity–obiekt odbijający wiązkę radarową. Prędkość zsuwu koluwium po zboczu można obliczyć, jeśli dysponuje się parametrami morfologicznymi pochodzącymi np. z numerycznego modelu terenu oraz pomiarem interferometrycznym obiektu (ryc. 2), wg wzoru (Rabus & Fatland, 2000; Coren i in., 2000):

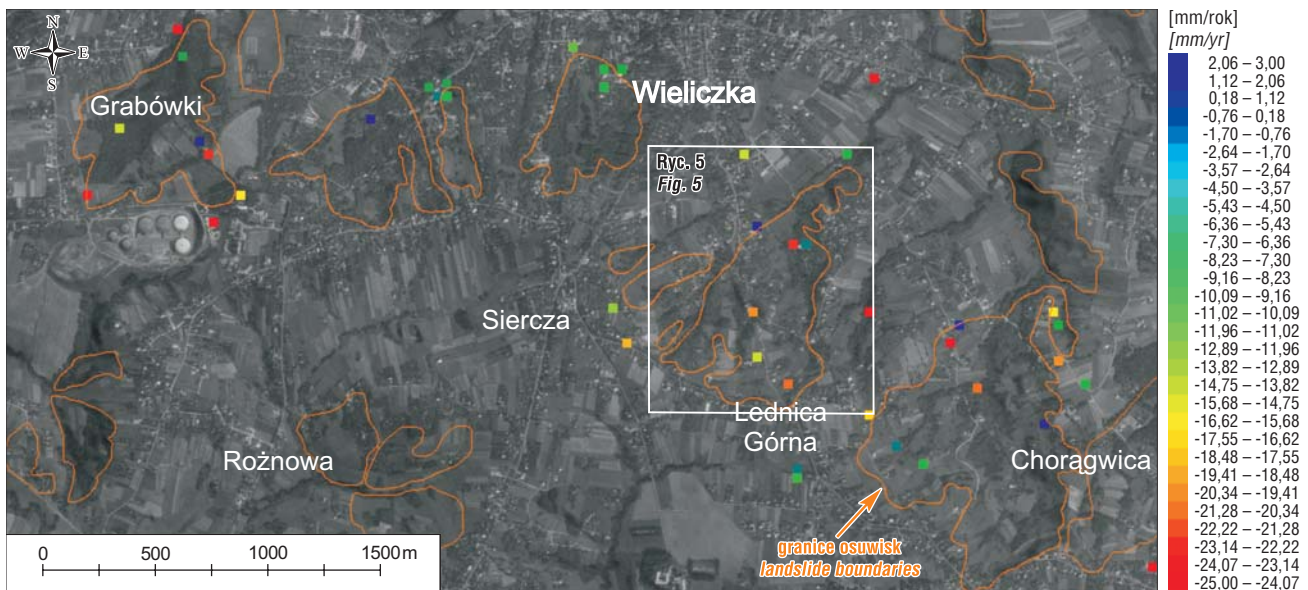
$$V_s = \frac{V_r}{\cos \phi \cos \xi \sin \nu - \sin \phi \cos \nu}$$

gdzie:

- $V_s$  — prędkość deformacji po zboczu,
- $V_r$  — prędkość deformacji w kierunku obserwacji satelity
- prędkość deformacji w kierunku sensor–powierzchnia odbicia,
- $\phi$  — nachylenie powierzchni,
- $\xi$  — kąt poziomy zawarty pomiędzy kierunkiem zsuwu a kierunkiem padania wiązki radarowej,
- $\nu$  — kąt zawarty między kierunkiem padania wiązki radarowej a pionem.



Ryc. 2. Pomiar dynamiki osuwiska metodą InSAR — zależności geometryczne  
 Fig. 2. Measurement of landslide dynamics by InSAR method — geometrical relationships



Ryc. 3. Zbiór punktów PS w obszarze badawczym *Wieliczka*  
 Fig. 3. PSInSAR results of the *Wieliczka* study area

Algorytm ten jest stosowany przede wszystkim do pomiaru prędkości lodowców (Perski i in., 2003), jednak jeśli weźmiemy pod uwagę podobieństwo satelitarnej geometrii (ryc. 2) lodowców i osuwisk, to można go z powodzeniem używać do badań ruchów masowych. Metoda ta jest jednak ograniczona do obszarów, gdzie obserwowana deformacja zachodzi w kierunku padania wiązki radarowej lub w kierunkach zbliżonych.

Równoleżnikowy bieg łańcucha Karpat w Polsce sprawia, że przeważająca część zboczy nachyla się w kierunku północnym (36,5%) albo południowym (29,5%). Jest to niekorzystna sytuacja dla satelitarnej interferometrii radarowej w kontekście pomiaru prędkości osuwisk. Najbardziej wiarygodne są te dane SAR, które pochodzą z obszarów o kierunkach nachylenia zawierających się w przedziałach 68,5–128,5° oraz 248,5–308,5°, i tylko dla nich można określić prędkość ruchu. Na podstawie numerycznego modelu rzeźby powierzchni terenu DTED-2 (*Digital Terrain Elevation Data*) obliczono, że tylko 20,1% obszaru Karpat spełnia ten wymóg. Na pozostałym terenie jest możliwe jedynie określenie miejsc na zboczach w kategoriach: „aktywny”, „nieaktywny”.

W obrębie samego obszaru *Wieliczka* prędkość zsuwu można interferometrycznie obliczyć na 26% obszaru. Duża liczba potencjalnych rozpraszaczy stabilnych (gęsta zabudowa) sprawia jednak, że poligon ten jest perspektywiczny w badaniach InSAR służących do odtwarzania aktywności zboczy w ostatnich kilkunastu latach. W przypadku obszaru *Nowy Sącz* dynamikę można obliczyć na 28% terenu. Tu jednak skupienie osuwisk w obrębie obrzeżenia Kotliny Sądeckiej obserwuje się w głównie na zboczach wschodnich i południowo-wschodnich, czyli sprzyjających pomiarom interferometrycznym z satelitów ERS.

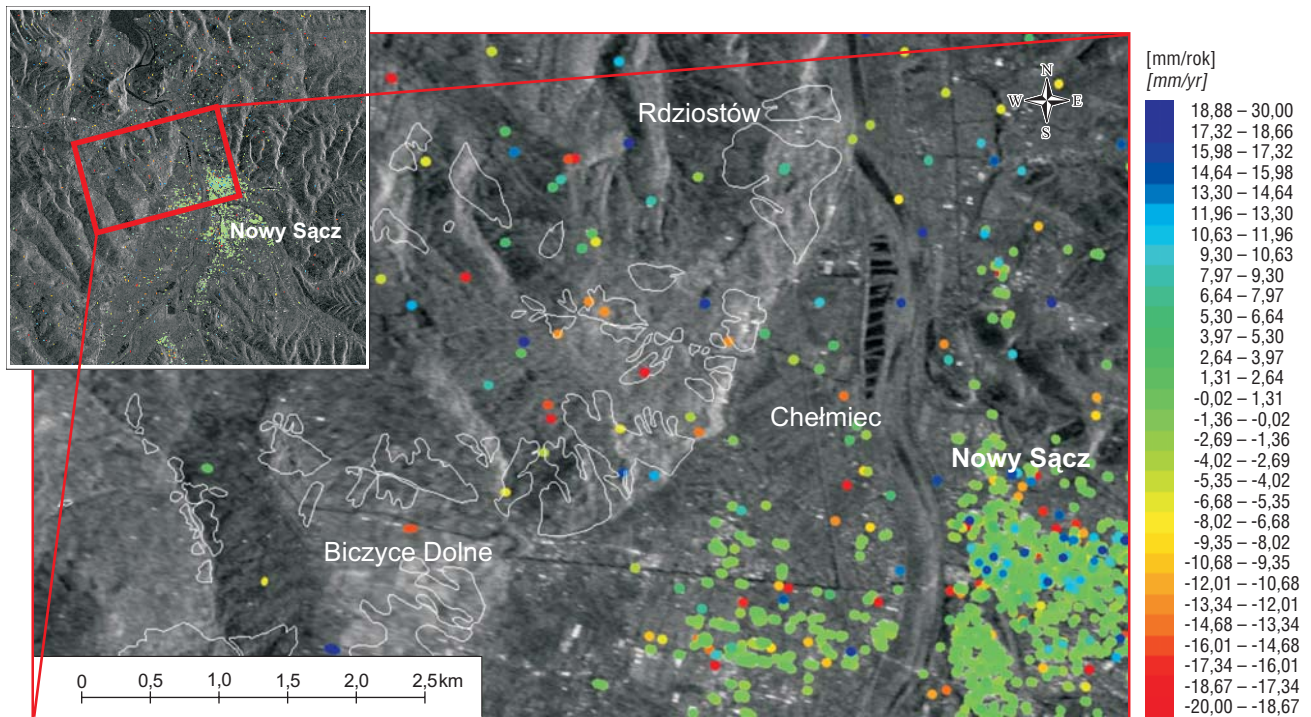
### Wyniki badań i ich analiza

Interferogramy radarowe DInSAR wygenerowano za pomocą programu interferometrycznego Doris (Kampes i in., 2003) oraz uzyskano zbiory punktów PS dzięki wykorzystaniu implementacji metody PSInSAR powstałej na

uniwersytecie w Delft (Perski & Mróz, 2007). Niestety z racji słabej koherencji na tradycyjnych interferogramach radarowych nie zostały wykazane deformacje osuwiskowe. Obszar polskiej części Karpat nie jest perspektywiczny, jeśli chodzi o tę metodę, a jedyną szansą zastosowania satelitarnej interferometrii radarowej na tym terenie jest technika PSInSAR. Na obu obszarach badawczych uzyskano po kilkadziesiąt punktów PS (ryc. 3, 4). Zostały one porównane z zasięgiem występujących osuwisk, a na obszarze *Wieliczka* przeprowadzono analizę prędkości osuwisk w strefach stabilnych rozpraszaczy (ryc. 5).

W obrębie *Wieliczki* udało się uzyskać 44 punkty PS (ryc. 3). Po porównaniu ich lokalizacji z zasięgiem osuwisk okazało się, że 27 rozpraszaczy stabilnych występuje na osuwiskach, a 17 poza nimi. Niższe partie zboczy są objęte deformacjami powierzchni terenu wywołanymi podziemną eksploatacją soli kamiennnej i zlokalizowane tam punkty PS mogą przedstawiać dynamikę osiadania powierzchni (Perski i in., 2007). Zastanawiający jest fakt umiejscowienia PS-ów wykazujących deformację ponad łukowatymi skarpami nisz osuwiskowych. Może to świadczyć o aktywności tych obszarów i możliwości ekspansji osuwisk w wyższe rejony zboczy.

Należy jednak pamiętać, że deformacje zmierzone interferometrycznie mogą być wywołane wpływami innymi od osuwiska czy osiadania terenu, a spowodowane np. błędami budowlanymi. Konieczna jest zatem terenowa identyfikacja stabilnych rozpraszaczy. Punkty PS obszaru *Wieliczka* zostały zidentyfikowane jako dachy budynków, słupy ogrodzeniowe, wysokiego napięcia i telefoniczne, nawierzchnia drogowa oraz łąki i drzewa. Obiekty budowlane charakteryzują się spękaniem ścian, słupy pochyleniem, a nawierzchnia drogowa uszkodzeniami poprzecznymi i spękaniem. Identyfikacja terenowa pozwoliła ustalić, że znaczna część tych uszkodzeń może być spowodowana osuwiskami, zwłaszcza w Lednicy Górnej i Chorągwicy. Deformacje w punktach PS wskazują na miejsca aktywności osuwiska w latach 1992–2000.



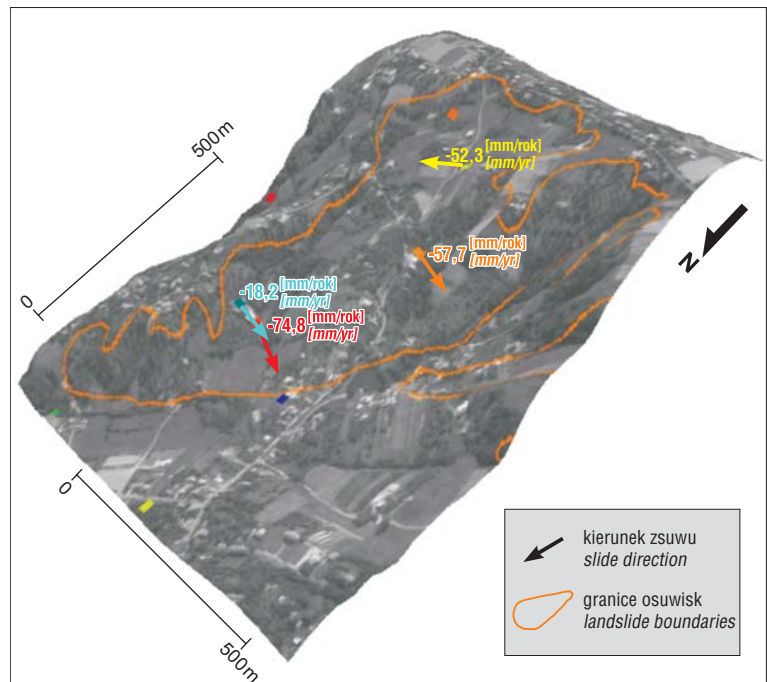
Ryc. 4. Zbiór punktów PS w obszarze badawczym Nowy Sącz  
 Fig. 4. PSInSAR results of the Nowy Sącz study area

W badaniach obszaru *Wieliczka* przeprowadzono również analizę prędkości osuwisk na podstawie PSInSAR. Z 44 punktów PS 11 wykazuje przemieszczenia w kierunku zbieżnym z padaniem wiązki radarowej satelity ERS, co jest wymogiem opisanym w rozdziale *Metodyka*. Prędkość zsuwu w danym punkcie obliczono na podstawie NMT DTED-2 i pomiaru PSInSAR. Najwięcej PS-ów jest zlokalizowanych w obrębie osuwiska w Lednicy Górnej (ryc. 5). Stabilne rozpraszacze stanowią tu dachy budynków wykazujących uszkodzenia. Osuwisko to niewątpliwie jest aktywne, a pomiary interferometryczne wykazują prędkość zsuwu 57,7 mm/rok, natomiast w niższych partiach 74,8 mm/rok.

Zbiór punktów PS, jaki udało się uzyskać dla obszaru *Nowy Sącz* (ryc. 4), w przeważającej części reprezentuje obszar miejski Nowego Sącza i Starego Sącza, gdzie występuje gęsta zabudowa. Tereny zboczy, w obrębie których powstały osuwiska, w dużej mierze są pokryte roślinnością. Fakt ten wpływa na mniejszą liczbę punktów PS na tym obszarze. Często jednak PS-y przedstawiają deformacje, można wiązać z ruchami osuwiskowymi. Stabilne rozpraszacze, wykazujące zmiany, są rozmieszczone zarówno w obrębie osuwisk, jak i poza nimi.

Obecnie trwają prace terenowe polegające na identyfikacji wszystkich punktów PS występujących na zboczach oraz na kartowaniu geologicznym osuwisk na obszarze badawczym *Nowy Sącz*. Wstępne wyniki tych badań wskazują, że liczba osuwisk na tym obszarze jest większa od znanej dotychczas. Można zatem przypuszczać, że większa część punktów PS przedstawia deformacje w obrębie osuwisk.

Satelitarna interferometria radarowa może odzwierciedlać w tym przypadku stan tworzenia się lub odnowienia osuwisk w latach 1992–2000. Na obecnym etapie badań za wcześnie jest jednak na określenie prędkości zsuwu. Deformacje, przejawiające się w punktach PS w kierunku obiekt–satelita, wahają się w granicach  $\pm 20$  mm/rok, co może być związane z ruchami masowymi.



Ryc. 5. Dynamika zsuwu w punktach PS obliczona dla osuwiska w Lednicy Górnej (obszar badawczy *Wieliczka* — ryc. 3)  
 Fig. 5. Sliding dynamics in the Lednica Górna (*Wieliczka* area — Fig. 3) landslide derived from PSInSAR

## Wnioski

Uzyskane dotychczas wyniki badań polegających na wykazaniu przydatności satelitarnej interferometrii radarowej w analizach osuwisk pokazały trudności związane z koherencją oraz z geometrią systemu satelitarnego danych SAR. Dla tradycyjnej interferometrii radarowej InSAR obszar Karpat ma zbyt duże deniwelacje terenu oraz zbyt gęstą pokrywę roślinną. Wykazanie deformacji na zboczach wydają się zatem mało realne. Mimo iż w stosunku do całego obszaru Karpat poligony badawcze *Wieliczka* i *Nowy Sącz* zachowują lepszą koherencję, nie udało się rozpoznać osuwisk na tradycyjnych interferogramach radarowych.

Zastosowanie PSInSAR dla obszarów badawczych dało satysfakcjonujące rezultaty. Uzyskano dane o kilkudziesięciu stabilnych rozpraszaczach. Obszar *Wieliczki* poddano szczegółowym analizom, z których wynika, że 44 punkty PS wykazują aktywność, a 27 z nich występuje na terenie osuwisk. Kilka jest położonych w strefach nisz osuwiskowych, co świadczy o aktywności osuwiskowej regionu. Po identyfikacji terenowej punktów PS okazało się, że znaczna część obiektów, które są stabilnymi rozpraszaczami, wykazuje deformacje pod wpływem ruchów masowych. Najwięcej takich obiektów rozpoznano w obrębie osuwisk w Lednicy Górnej i Chorągwiczy, które są zaliczane do aktywnych.

Prędkość zsuwu, osiągającą 74,8 mm/rok, udało się określić dla 11 punktów PS w obszarze *Wieliczka*. Uzyskane wyniki pozwalają z optymizmem patrzeć na dalszy rozwój metodyki PSInSAR w badaniu osuwisk. Dotychczasowe rezultaty pozwalają już teraz na wykorzystanie tej techniki w pracach rozpoznawczych nad aktywnością zboczy, z czego autorzy korzystają obecnie podczas badań obszaru *Nowy Sącz*.

Praca naukowa została finansowana ze środków na naukę MNiSW w latach 2008–2009 jako projekt badawczy *Geologiczna analiza osuwisk z wykorzystaniem satelitarnej interferometrii radarowej na przykładzie wybranych obszarów Karpat* (N N307 131534) i w ramach projektu badawczego MNiSW nr 4T12E04329 *Zastosowanie metod interferometrii radarowej InSAR do badania naturalnych ruchów powierzchni terenu w Polsce* oraz projektu badawczego ESA: C1P.3915.

## Literatura

COLESANTI C., FERRETTI A., PRATI C. & ROCCA F. 2003 — Monitoring landslides and tectonic motion with the Permanent Scatterers Technique. *Eng. Geol.*, 68: 3–14.  
 COLESANTI C. & WASOWSKI J. 2006 — Investigating landslides with space-borne Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry. *Eng. Geol.*, 88: 173–199.  
 COREN F., STERZAI P. & VIDMAR R. 2000 — Interferometric analysis of David Glacier (East Antarctica). [In:] ERS-Envisat Symposium “Looking down to Earth in the New Millennium”. Gothenburg. CD-ROM: ESA SP-461.  
 CZARNOGÓRSKA M., GRANICZNY M., KOWALSKI Z. & WEGMÜLLER U. 2008 — Dynamika zmian powierzchni terenu na Górnym Śląsku w okresie 10.07–25.08.2007 r. na podstawie danych interferometrycznych z satelity ALOS. *Prz. Geol.*, 56: 524–527.  
 DELACOURT C., ALLEMAND P., SQUARZONI C., PICARD F., RAUCOULES D. & CARNEC C. 2003 — Potential and limitations of ERS-differential SAR interferometry for landslides studies in French Alps and Pyrenees. [In:] Lacoste H. (compiled) *Proceedings of Fringe*

2003 Workshop. Frascati, Italy, 1–5 December 2003. ESA Publications Division, Noordwijk. CD-ROM: ESA SP-550.  
 FERRETTI A., PRATI C. & ROCCA F. 2001 — Permanent scatterers InSAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39: 8–20.  
 FRUNEAU B., ACHACHE J. & DELACOURT C. 1996 — Observation and modelling of the Saint-Etienne-de-Tinee landslide using SAR interferometry. *Tectonophysics*, 265: 181–190.  
 GRABOWSKI D. 2008 — System Osłony Przeciwośuwiskowej SOPO. *Prz. Geol.*, 56: 537–538.  
 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”*. Kraków, Poland, October 20–21, 2005. *Pol. Geol. Inst. Special Pap.*, 20: 59–63.  
 HILLEY G.E., BÜRGMANN R., FERRETTI A., NOVALI F. & ROCCA F. 2004 — Dynamics of slow-moving landslides from permanent scatterer analysis. *Science*, 304, 5679: 1952–1955.  
 KAMPES B., HANSSEN R. & PERSKI Z. 2003 — Radar interferometry with public domain tools. [In:] Lacoste H. (compiled) *Proceedings of Fringe 2003 Workshop*. Frascati, Italy, 1–5 December 2003. ESA Publications Division, Noordwijk. CD-ROM: ESA SP-550.  
 KRAWCZYK A. & PERSKI Z. 2000 — Application of satellite radar interferometry on the areas of underground exploitation of copper ore in LGOM — Poland. [In:] 11<sup>th</sup> International Congress of the International Society for Mine Surveying. Cracow, September 2000. Zarząd Główny SITG, Katowice, 2: 209–218.  
 MASSONNET D. & FEIGL K.L. 1998 — Radar interferometry and its application to changes in the earth’s surface. *Rev. Geophys.*, 6: 441–500.  
 OSZCZYPKO N. & WÓJCIK A. 1993 — Objasnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1 : 50 000. Arkusz Nowy Sącz (1035). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.  
 PERSKI Z., HANSSEN R. & MARINKOVIC P. 2007 — Deformation of the margin of Sudety Mountains (Southern Poland) studied by Persistent Scatterers Interferometry. [In:] *Proceedings of Fringe 2007*. ESRIN, Frascati, Italy, 26–30 November 2007. ESA Publications Division, Noordwijk. CD-ROM: ESA SP-649.  
 PERSKI Z., JANIA J. & STOBER M. 2003 — SAR-interferometric flow velocities of two tidewater glaciers in NW Spitsbergen: method and results. [In:] Lacoste H. (compiled) *Proceedings of the Fringe 2003 Workshop*. Frascati, Italy, 1–5 December 2003. ESA Publications Division, Noordwijk. CD-ROM: ESA SP-550.  
 PERSKI Z. & JURA D. 1999 — ERS SAR Interferometry for the land subsidence detection in coal mining areas. *Earth Observ. Quart.*, 63: 25–29.  
 PERSKI Z., KETELAAR G. & MRÓZ M. 2006 — Interpretacja danych ENVISAT/ASAR o przemiennej polaryzacji na obszarach zurbanizowanych w kontekście charakterystyki stabilnych rozpraszaczy (persistent scatterers). *Arch. Fotogram. Teledet.*, 16: 467–482.  
 PERSKI Z. & MRÓZ M. 2007 — Zastosowanie metod interferometrii radarowej InSAR do badania naturalnych ruchów powierzchni terenu w Polsce. Projekt GEO-IN-SAR. *Arch. Fotogram. Teledet.*, 17: 613–624.  
 PORZYCKA S. & LEŚNIAK A. 2007 — Przetwarzanie obrazów radarowych techniką PSInSAR. *Arch. Fotogram. Teledet.*, 17: 661–670.  
 RABUS B.T. & FATLAND D.R. 2000 — Comparison of SAR-interferometric and surveyed velocities on a mountain glacier: Black Rapids Glacier, Alaska, USA. *J. Glaciol.*, 46, 152: 119–128.  
 RĄCZKOWSKI W. 2007 — Zagrożenia osuwiskowe w polskich Karpatkach. *Prz. Geol.*, 55: 638.  
 ROSEN P., HENSLEY S., JOUGHIN I.R., LI F.K., MADSEN S.N., RODRIGUEZ E. & GOLDSTEIN R.M. 2000 — Synthetic aperture radar interferometry. [In:] *Proceedings of the IEEE*, 88, 3: 333–382.  
 VIETMEIER J., WAGNER W. & DIKAU R. 1999 — Monitoring moderate slope movements (landslides) in the Southern French Alps using differential SAR interferometry. [In:] *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Workshop on ERS SAR Interferometry*. Fringe 1999. Liège, Belgium, 10–12 November 1999. ESA-ESTEC, Noordwijk. CD-ROM  
 WOJCIECHOWSKI T. 2008 — Podatność osuwiskowa zboczy w Wieliczce. *Pr. Nauk. Inst. Górn. PWr*, 122, ser. 51: 247–256.  
 WÓJCIK A. & MROZEK T. 2002 — Landslides in the Carpathian Flysch. [In:] Ostaficzuk S. & Ciesielczuk J. (eds.) *Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Conference and Fieldtrip on Landslides (ICFL)*. Polish Lowlands – Carpathians – Baltic Coast, Poland, 6–16 September 2002. CPPGSMiE PAN, Kraków: 151–167.