

**ZASTOSOWANIE SATELITARNEJ INTERFEROMETRII RADAROWEJ DO
OKREŚLENIA AKTYWNOŚCI OSUWISK OBRZEŻENIA KOTLINY
SĄDECKIEJ**

**APPLICATION OF SAR INTERFEROMETRY TO THE ASSESSMENT OF
LANDSLIDING ACTIVITY ON THE EDGE OF THE NOWY SĄCZ BASIN**

Tomasz Wojciechowski, Zbigniew Perski

Katedra Geologii Podstawowej, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski

SŁOWA KLUCZOWE: InSAR, stabilne rozpraszacze, osuwiska, obrzeżenie Kotliny Sądeckiej

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono wyniki badań nad możliwościami zastosowania satelitarnej interferometrii radarowej w kontekście osuwisk polskiej części Karpat. Poligonem badawczym są zbocza występujące w północno-zachodnim obrzeżeniu Kotliny Sądeckiej gdzie występują osuwiska. Na obszarze Karpat metoda InSAR boryka się z problemami związanymi z dużymi deniwelacjami terenu, dużym pokryciem szatą roślinną i długo utrzymującą się pokrywą śnieżną. Dzięki implementacji metody PSInSAR powstałej na Uniwersytecie w Delft, uzyskano punkty PS z serii 51 rejestracji ERS-1/2 SAR. Łącznie uzyskano 145 stabilnych rozpraszaczy z których część wykazuje deformacje związane z osuwiskami. Dane te mogą zostać wykorzystane w kartowaniu osuwisk i w określaniu aktywności zboczy. Dla obszaru badań przeprowadzono analizę dynamiki osuwisk. Przykładowe osuwisko w Podegrodziu charakteryzuje się dynamiką osiadającą 72.9 mm/rok. Uzyskane wyniki określone zostały jako satysfakcjonujące i pozwalające patrzeć z optymizmem w przyszłość badań nad dalszym rozwojem metodyki PSInSAR do badań osuwisk w Polsce.

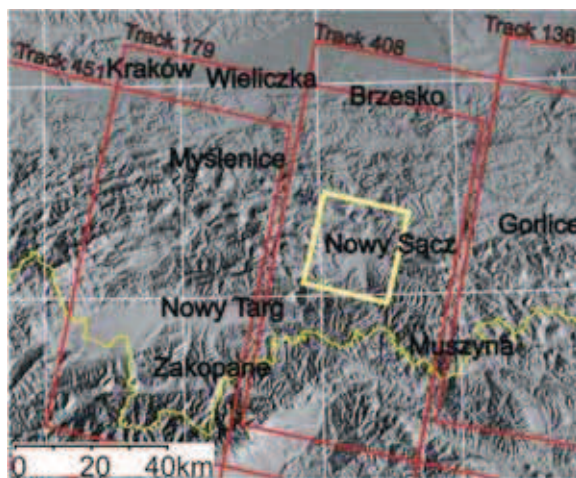
1. WSTĘP

Satelitarna interferometria radarowa jest obecnie jedną z prężnie rozwijających się zdalnych metod mierniczych. Pozwala ona określić zmiany zachodzące na powierzchni terenu z dokładnością milimetrową, co jest dużą zaletą w przypadku subtelných deformacji takich jak osuwiska. Dotychczasowe osiągnięcia światowe w tym temacie wykazują możliwości stosowania technik InSAR w badaniu osuwisk, wskazując jednocześnie na ograniczenia i problemy związane z badaniem obszarów górskich (Fruneau *et al.*, 1996, Vietmeier *et al.*, 1999, Colesanti *et al.*, 2003, Hilley *et al.*, 2004, Colesanti i Wasowski, 2006). InSAR to technika polegająca na pomiarze różnicy fazy sygnału radarowego dwóch obserwacji typu SAR (Synthetic Aperture Radar) tego samego obszaru przedstawionej na interferogramie radarowym. Stosowanie jej jednak dla górzystego terenu często jest problematyczne z powodu dekorelacji sygnału radarowego, na którą wpływ mają duże deniwelacje terenu, zmiany atmosferyczne i pokrycie szatą roślinną (Vietmeier *et al.*, 1999, Delacourt *et al.*, 2003). Częściowym rozwiązaniem tego ograniczenia jest metoda PSInSAR, która poprzez wykorzystanie dużych serii pomiarowych wyznacza deformacje w punktach zwanych stabilnymi

rozpraszaczami (PS), charakteryzującymi się stabilną fazą sygnału radarowego (Ferretti *et al.*, 2001, Perski *et al.*, 2006). Przegląd metodyki InSAR można znaleźć w (Massonnet i Feigl, 1998, Rosen *et al.*, 2000), a PSInSAR w (Ferretti *et al.*, 2001, Perski i Mróz, 2007, Porzycka i Leśniak, 2007), dlatego szczegóły zostały w tym artykule pominięte.

Satelitarna interferometria radarowa była już z powodzeniem stosowana w Polsce. Problematyka badań dotyczyła powierzchniowych deformacji powierzchni terenu na Górnym Śląsku (Perski i Jura, 1999) i na obszarze Legnicko-Głogowskiego zagłębia miedziowego (Krawczyk i 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 i Mróz, 2007) oraz w ramach uczestnictwa Państwowego Instytutu Geologicznego w międzynarodowym konsorcjum TerraFirma (Graniczny *et al.*, 2005, Czarnogórska *et al.*, 2008).

Tematyka osuwisk podjęta została w projekcie badawczym (promotorskim) MNiSW „Geologiczna analiza osuwisk z wykorzystaniem satelitarnej interferometrii radarowej na przykładzie wybranych obszarów Karpat”. W ramach tego projektu oraz wspomnianego już GEO-IN-SAR uzyskano pierwsze w Polsce satysfakcjonujące wyniki badań osuwisk karpaccich z wykorzystaniem satelitarnej interferometrii radarowej (Wojciechowski, Perski, 2008). Niniejszy artykuł przedstawia dotychczasowe osiągnięcia w zastosowaniu PSInSAR do analiz osuwisk występujących w północnej części obrzeżenia Kotliny Sądeckiej (rys. 1). Obszar ten jest jednym z poligonów badawczych tego projektu, charakteryzujący się występowaniem ruchów masowych (Oszczytko, Wójcik, 1993).



Rys. 1. Lokalizacja obszaru badań na tle pokrycia zobrazowaniami satelitów ERS

2. OBSZAR BADAŃ

Liczba osuwisk w polskiej części Karpat szacowana obecnie na co najmniej 23 000 (Rączkowski, 2007) może osiągać nawet 50 000 (Grabowski, 2008). Liczba ta robi wrażenie zwłaszcza gdy brana jest pod uwagę w kontekście zagrożeń jakie niosą za sobą ruchy masowe. Na terenie obrzeżenia Kotliny Sądeckiej, które w kierunku NW

przechodzi w Pogórze Łącko-Podegrodzkie, przez osuwiska niszczone jest kilkadziesiąt odcinków dróg oraz zabudowań w tym mieszkalnych. W badanej części obrzeżenia rozpoznano 356 osuwisk, których znaczna część wykazuje aktywność. Wskaźnik osuwiskowości obszaru wynosi 15.56%. Podłoże dla ruchów masowych stanowią fliszowe osady piaskowcowo-łupkowe serii magurskiej oraz gliny (Oszczytko, 1973, Oszczytko i Wójcik, 1992).

Karpaty dla satelitarnej interferometrii radarowej nie są dogodnym obszarem badawczym. Dobrą koherencję można z reguły otrzymać dla terenów zurbanizowanych, gdzie występuje duża liczba obiektów budowlanych. Patrząc całościowo na polską część Karpat obszarów takich jest stosunkowo niewiele. Przeważa leśne pokrycie terenu, które rozprasza sygnał radarowy. Negatywny wpływ na czytelność interferogramów ma również duża deniwelacja terenu obszarów górskich. Okolice Nowego Sącza charakteryzują się wyższym parametrem koherencji w stosunku do całego obszaru karpackiego i obok terenów Wieliczki są najbardziej perspektywiczne dla testowych badań osuwisk z wykorzystaniem satelitarnej interferometrii radarowej.

3. METODYKA

W ramach prezentowanych badań wygenerowano interferogramy radarowe DInSAR za pomocą programu interferometrycznego DORIS oraz pozyskano 145 punktów PS przy wykorzystaniu implementacji metody PSInSAR powstałej na Uniwersytecie w Delft (Perski i Mróz, 2007). Użyto do tego 51 rejestracji ERS-1/2 SAR objętych ścieżką 179, które reprezentują 7.5 letnią rozpiętość czasową zawartą między 18 czerwca 1992 a 17 grudnia 2000. Niestety z racji słabej koherencji nie udało się wykazać deformacji osuwiskowych na tradycyjnych interferogramach.

Uzyskane punkty PS są obecnie identyfikowane w terenie. Jest to ważna czynność polegająca na wykluczeniu tych rozpraszaczy stabilnych, które wykazują deformacje nie związane z osuwiskami. Te których deformacje mogą być związane z ruchami masowymi wykorzystać można do rozpoznania osuwisk oraz do określenia aktywności w kategoriach „aktywne”, „nieaktywne”.

Techniki InSAR wykorzystywane są najczęściej do określenia dynamiki zjawisk zachodzących na powierzchni terenu. W kontekście badań osuwisk, dynamikę można obliczyć tylko dla punktów spełniających określone zależności morfologiczne. Deformacja InSAR jest pomiarem prędkości zmian obserwowanych na powierzchni terenu

w kierunku sensor satelity – obiekt odbijający wiązkę radarową, dlatego ważne jest by osuwisko przemieszczało się w kierunku zbliżonym do padania wiązki radarowej. Dla orbit zstępujących przelotów satelitów ERS wiązka radarowa kierowana jest w stronę powierzchni Ziemi z kierunku 98.5° pod kątem 67° względem płaszczyzny poziomej. Najdogodniejsze są zatem obszary nachylone w kierunkach zawierających się w przedziałach $68.5^\circ \div 128.5^\circ$ oraz $248.5^\circ \div 308.5^\circ$ i tylko dla nich można określić dynamikę ruchu. Dysponując parametrami morfologicznymi pochodzącymi np. z numerycznego modelu terenu oraz pomiarem interferometrycznym obiektu można obliczyć dynamikę zsuwu koluwiów (rys. 2) wg wzoru (1) (Rabus i Fatland, 2000, Coren *et al.*, 2000):

$$V_s = \frac{V_r}{\cos \phi \cos \xi \sin \nu - \sin \phi \cos \nu} \quad (1)$$

gdzie:

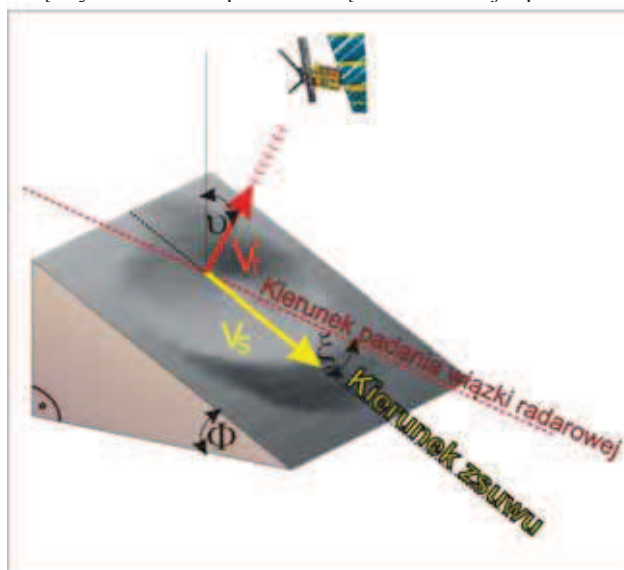
V_s – prędkość deformacji po zboczu

V_r – prędkość deformacji w kierunku sensor – powierzchnia odbicia

ϕ – nachylenie powierzchni

ξ – kąt poziomy zawarty pomiędzy kierunkiem zsuwu a kierunkiem padania wiązki radarowej.

ν – kąt zawarty między kierunkiem padania wiązki radarowej a pionem.



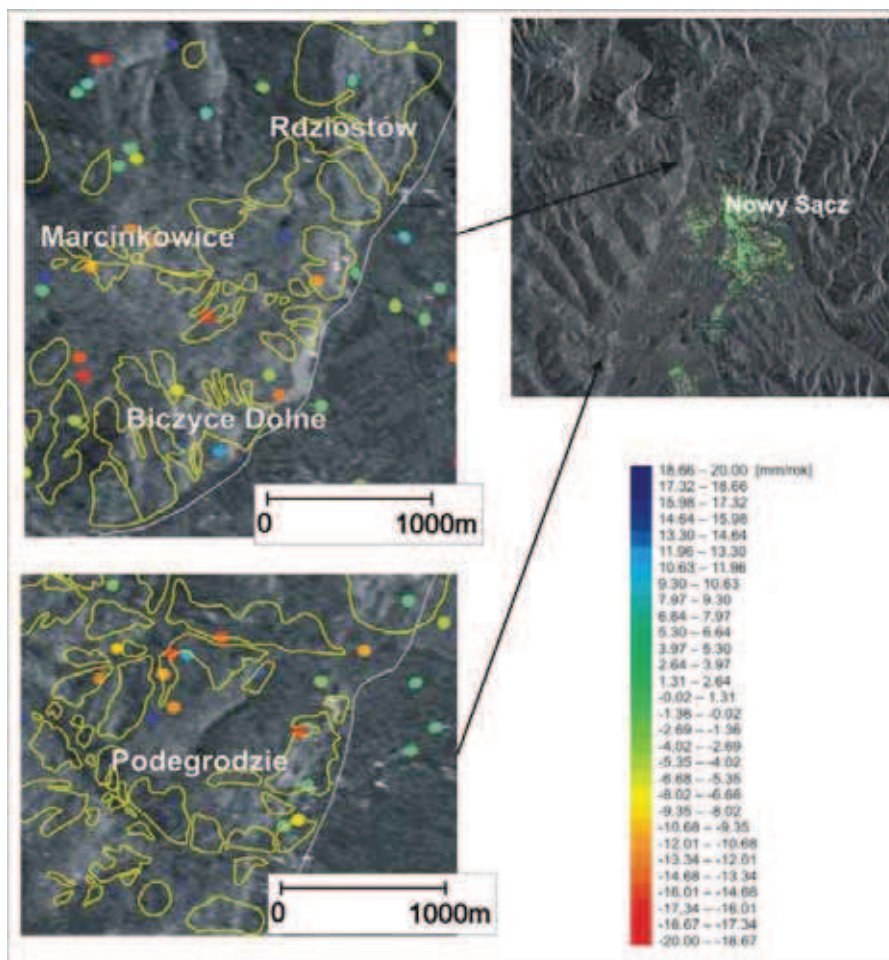
Rys. 2. Geometria obserwacji InSAR powierzchni osuwiska w pomiarze dynamiki osuwisk

Algorytm ten stosowany jest przede wszystkim do pomiaru prędkości lodowców (Perski *et al.*, 2003), jednak biorąc pod uwagę podobieństwo satelitarnej geometrii wobec pomiaru lodowców i osuwisk, można go z powodzeniem używać do badań ruchów masowych.

Równoleżnikowy bieg łańcucha Karpat w Polsce sprawia, że zbocza w przeważającej mierze nachylają się w kierunku północnym (36.5%) i południowym (29.5%). Jest to niekorzystna sytuacja dla satelitarnej interferometrii radarowej w kontekście pomiaru dynamiki osuwisk. Bazując na numerycznym modelu powierzchni terenu DTED-2 (Digital Terrain Elevation Data) obliczono, że tylko 20.1% obszaru Karpat spełnia ten wymóg. Dla obrzeżenia Kotliny Sądeckiej właściwą ekspozycją zboczy charakteryzuje się 28% terenu, co tylko potwierdza słuszność wyboru obszaru badań. Dodatkowym argumentem tego wyboru jest fakt, że skupienie osuwisk obserwuje się tu w dużej mierze na zboczach wschodnich i południowo-wschodnich, czyli sprzyjających pomiarom interferometrycznym z satelitów ERS.

4. WYNIKI BADAŃ

Dla obszaru badań udało się pozyskać 145 punktów PS (rys. 3). Daje to zagęszczenie 1.6 PS na km², co nie jest liczbą imponującą. Po porównaniu ich lokalizacji z zasięgiem osuwisk okazuje się, że 35 rozpraszaczy stabilnych występuje na osuwiskach, a aż 110 poza nimi.



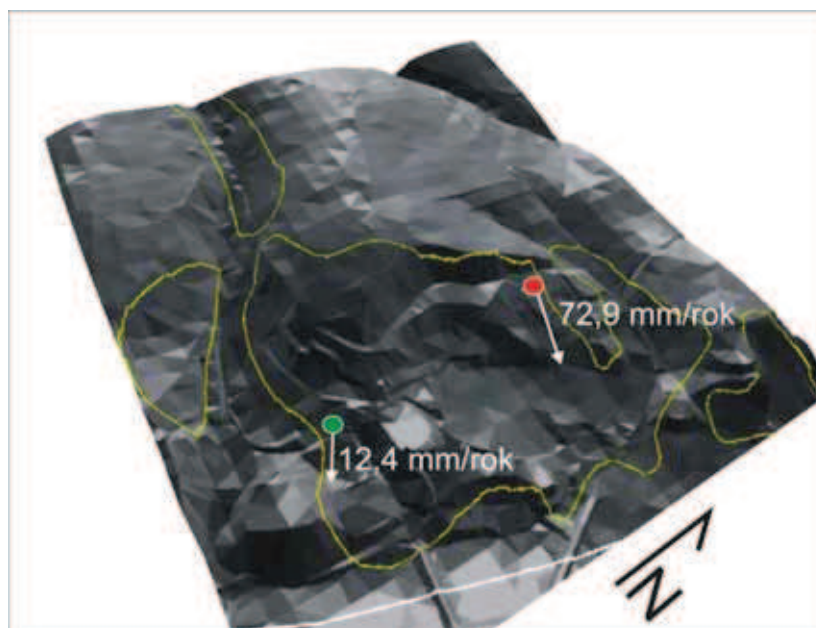
Rys. 3. Zbiory punktów PS dla wybranych obszarów obrzeżenia Kotliny Śląskiej. Zasięg osuwisk na podstawie Oszczyпки i Wójcika (1992)

Wszystkie punkty występujące w obrębie ruchów masowych wykazują deformacje zarówno dodatnie jak i ujemne. Z pozostałych 110 PS-ów, 35 nie wykazuje deformacji. Istnieją dwie koncepcje wyjaśniające taką postać rzeczy, przy założeniu poprawności obliczeń. Po pierwsze stabilne rozpraszacze nie muszą być związane z osuwiskami. Nawet w przypadku gdy dachy budynków mieszkalnych zachowują stałą w czasie fazę sygnału radarowego, deformacje jakie wykazują obliczenia PSInSAR mogą być spowodowane np. błędami budowlanymi. Druga koncepcja porusza temat lokalizacji

osuwisk. Ich kartowanie terenowe często nie jest łatwym zadaniem, bowiem elementy morfologiczne, które mogły by świadczyć o występowaniu osuwiska są zatarte i zdeformowane przez działalność antropogeniczną. Ruchy masowe mogą być nie rozpoznawalne, zwłaszcza gdy są powolne i nie powodujące zniszczeń. Interferometria radarowa może posłużyć do wyznaczenia takich właśnie stref. Prawdopodobne jest, że duża część punktów PS, występujących poza obecnie rozpoznanymi osuwiskami w rzeczywistości charakteryzują deformacje związane z ruchami masowymi. Wstępne wyniki prowadzonych obecnie prac terenowych wykazują, że liczba osuwisk na tym obszarze jest większa od znanej dotychczas oraz, że osuwiska zwiększyły swoje powierzchnie w ostatnich 12 latach. Można zatem przypuszczać, że większa część punktów PS przedstawia deformacje w obrębieniu osuwisk. Należy dodać, że uzyskane pomiary interferometryczne są również wykorzystywane w pracach terenowych. Duża część PS-ów przedstawiających deformacje powierzchni terenu zlokalizowana jest w pobliżu osuwisk. Charakterystyczne występowanie ich ponad rozpoznanymi krawędziami nisz osuwiskowych może świadczyć o ekspansywnym charakterze opisywanych struktur w wyższe partie zboczy. Dane interferometryczne można zatem interpretować jako wskaźnik sugerujący o zwiększeniu zasięgu osuwiska, co może mieć wpływ na wzrost zagrożenia dla występujących tam ewentualnych zabudowań.

Duże zagęszczenie stabilnych rozpraszaczy występuje w Rdziostowie i Marcinkowicach. Przeprowadzono wstępne badania terenowe obszaru, który na podstawie prezentowanych obliczeń PSInSAR jest podejrzany o występowanie osuwisk. Jak dotąd udało się ustalić, że część występujących tam ruchów masowych powiększyło swój obszar aktywności. Prawdopodobny jest też fakt powstania zupełnie nowych osuwisk, zwłaszcza w rejonie Marcinkowic. Podobną sytuację obserwuje się w Podegrodziu i Owieczce, gdzie osuwiska niszczą budynki mieszkalne oraz odcinki infrastruktury drogowej. Część punktów PS została tam właśnie zidentyfikowana jako nawierzchnia drogowa oraz dachy popękanych budynków.

W badaniach podjęto również próbę analizy dynamiki osuwisk w punktach PS. Wykorzystując NMT ustalono, że ze wszystkich PS-ów tylko 45 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 pomiarze PSInSAR. Wyniki jakie uzyskano wahają się pomiędzy 3 a 152 mm/rok. Prędkości te mogą wydawać się w niektórych przypadkach zaniżone w stosunku do zaobserwowanych struktur w terenie. Budynki są poddawane naciskom zsuwających się mas skalnych i stanowią dla nich opór. Tempo deformacji należy zatem identyfikować jako świadectwo aktywności dachu budynku jako stabilnego rozpraszacza pod wpływem osuwiska o większej prędkości przemieszczenia koluwiów. Za przykład analizy dynamiki osuwiska w punktach PS posłużyło osuwisko zlokalizowane w Podegrodziu (rys. 4). Pozyskano tam 2 punkty PS, które odzwierciedlają zmiany powierzchni dachów budynków, które bezspornie są uszkodzane poprzez osuwisko. Wyżej leży obiekt charakteryzuje się dynamiką zsuwu w obrębie niszy osuwiskowej wynoszącą 72.9 mm/rok w kierunku azymutu 94°, ten zlokalizowany bardziej na południu prezentuje dynamikę w obrębie jezora 12.4 mm/rok w kierunku azymutalnym 101°.



Rys. 4. Dynamika zsuwu w punktach PS zlokalizowanych w obrębie osuwiska w Podegrodziu

5. PODSUMOWANIE

Uzyskane dotychczas wyniki badań polegających na wykazaniu przydatności satelitarnej interferometrii radarowej w analizach osuwisk wykazały trudności związane z koherencją oraz z geometrią systemu satelitarnego dla 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 wykorzystując technikę DInSAR.

Zastosowanie PSInSAR dla obrzeżenia Kotliny Sądeckiej również okazało się trudne. Uzyskano dane dla 145 stabilnych rozpraszaczy. Porównanie ich z występowaniem osuwisk wykazało, że znaczna część punktów PS lokalizuje się poza osuwiskami. Istnieje duże prawdopodobieństwo, że wskazują one deformacje obiektów nie związane z osuwiskami lub, że osuwiska obejmują większy obszar niż przypuszczano dotychczas. Dane te są wykorzystywane w pracach terenowych polegających na identyfikacji ruchów masowych wskazując miejsca potencjalnie zagrożone. Identyfikowane są również stabilne rozpraszacze w celu wykluczenia tych, które wykazują deformacje nie związane z osuwiskami. Przeprowadzona analiza dynamiki wykazała, że osuwiska w badanym obszarze mogą się przemieszczać z prędkością $3 \div 152$ mm/rok, co stwierdzono w 45 punktach PS.

Wyniki takie pozwalają z optymizmem patrzeć na przyszłość dalszych prac rozwojowych metodyki PSInSAR w badaniu osuwisk i prezentują możliwości wykorzystania już teraz tej techniki w pracach rozpoznawczych aktywności zbroczy, co ma miejsce obecnie przy badaniach m.in. obszaru okolic Nowego Sącza.

Praca naukowa 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.

6. LITERATURA

- Colesanti C., Ferretti A., Prati C., Rocca F., 2003. Monitoring landslides and tectonic motion with the Permanent Scatterers Technique. *Engineering Geology*, 68/1-2, s. 3-14.
- Colesanti C., Wasowski J., 2006. Investigating landslides with space-borne Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry. *Engineering Geology*, 88, s. 173-199.
- Coren F., Sterzai P., Vidmar R., 2000. Interferometric analysis of David Glacier (East Antarctica). *ERSEnvisat Symposium*, ESA SP-461, Gothenburg, CD-ROM.
- 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. *Przegląd Geologiczny*, 56, s. 524-527.
- Delacourt C., Allemand P., Squarizoni C., Picard F., Raucoules D., Carnec C., 2003. Potential and limitations of ERS-differential SAR interferometry for landslides studies in French Alps and Pirenees. *Fringe 2003 Workshop*, Frascati, Italy, 1-5 December 2003, CD-ROM.
- Ferretti A., Prati C., Rocca F., 2001. Permanent scatterers InSAR Interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 39(1), s. 8-20.
- Fruneau B., Achache J., Delacourt C., 1996. Observation and modelling of the Saint-Etienne-de-Tinée landslide using SAR interferometry. *Tectonophysics*, 265(3-4), s. 181-190.
- Grabowski D., 2008. System Osłony Przeciwsuwiskowej SOPO. *Przegląd Geologiczny*, 56, s. 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. *Polish Geological Institute. Special Papers*, 20, s. 59-63.
- Hilley G.E., Bürgmann R., Ferretti A., Novali F., Rocca F., 2004. Dynamics of Slow-Moving Landslides from Permanent Scatterer Analysis. *Science*, Vol. 304, no. 5679, s. 1952-1955.
- Krawczyk A., Perski Z., 2000. Application of satellite radar interferometry on the areas of underground exploitation of copper ore in LGOM – Poland. *First International Congress of the International Society for Mine Surveying*, Kraków, Vol.2, s. 209-218.
- Massonnet D., Feigl K.L., 1998. Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface. *Reviews of Geophysics*, Vol. 36(4), s. 441-500.
- Oszczytko N., 1973. Budowa geologiczna Kotliny Śląskiej. *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, 271, s. 101-199.

- Oszczypko N., Wójcik A., 1992. Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, Arkusz Nowy Sącz (1035). Państwowy Instytut Geologiczny.
- Oszczypko N., Wójcik A., 1993. Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000, Arkusz Nowy Sącz (1035). Państwowy Instytut Geologiczny.
- Perski Z., Jania J., Stober M., 2003. SAR-interferometric flow velocities of two tidewater glaciers In NW Spitsbergen: method and results. *Workshop Fringe Advances in SAR Interferometry from ERS and ENVISAT missions*, Frascati, Italy, 1-5 December 2003, CD-ROM.
- Perski Z., Jura D., 1999. ERS SAR Interferometry for the Land Subsidence Detection in Coal Mining Areas. *Earth Observation Quarterly*, 63, s. 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). *Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji*, tom 16, s. 467-482.
- Perski Z., Mróz M., 2007. Zastosowanie metod interferometrii radarowej InSAR do badania naturalnych ruchów powierzchni terenu w Polsce. Projekt GEO-IN-SAR. *Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji*, tom 17, s. 613-624.
- Porzycka S., Leśniak A., 2007. Przetwarzanie obrazów radarowych techniką PSInSAR. *Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji*, tom 17, s. 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. *Journal of Glaciology*, Vol. 46. No. 152, s. 119-128.
- Rączkowski W., 2007. Zagrożenia osuwiskowe w polskich Karpatach. *Przegląd Geologiczny*, 55, s. 638.
- Rosen P., Hensley S., Joughin I.R., Li F.K. Madsen S., Rodriguez E., Goldstein R., 2000. Synthetic Aperture Radar Interferometry. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 88(3), s. 333-382.
- Wojciechowski T., Perski Z., 2008. Wykorzystanie satelitarnej interferometrii radarowej do badań osuwisk w polskiej części Karpat. *Konferencja „Tatrzańskie mapy geologiczne”*, Zakopane, 27-29 maj 2008.
- Vietmeier J., Wagner W., Dikau R., 1999. Monitoring moderate slope movements (landslides) in the Southern French Alps using differential SAR interferometry. *Second International Workshop on ERS SAR Interferometry, Fringe 1999*. Liège, Belgium, 10-12 November 1999, CD-ROM.

**APPLICATION OF SAR INTERFEROMETRY TO THE ASSESSMENT OF
LANDSLIDING ACTIVITY ON THE EDGE OF THE NOWY SĄCZ BASIN**

KEY WORDS: SAR interferometry, persistent scatterers, landslides, edge of the Nowy Sącz Basin.

Summary

The paper presents preliminary results of research on a possibility of applying SAR interferometry to the assessment of landslides in the Polish part of the Carpathians. For the purpose of this study, the NW edge of Nowy Sącz basin has been chosen. Applications of InSAR (SAR Interferometry) to the Carpathians is difficult due to the rough topography, vegetation, and prolonged snow cover. Such problems were overcome by applying PSInSAR (Persistent Scatterers SAR Interferometry) which utilizes long time series of SAR data. In the present case, a set of Persistent Scatterers was collected by processing a stack of 55 ERS-1/2 SAR scenes using Delft University of Technology's implementation of the PSI method. Some 145 highly coherent PS points were obtained; they provide evidence of a landsliding movement. The most reliable points were then used in a quantitative cartographic study to assess the movement along the slope. Analysis of landslide dynamics was carried out for the study area whereby a landslide in Podegrodzie, progressing at a rate of 72.9 mm/year was documented. The preliminary results are very promising for the development of PSInSAR methodology to study landslides in Poland.

mgr Tomasz Wojciechowski
e-mail: twojcie@wnoz.us.edu.pl
tel. 32 3689 420

dr Zbigniew Perski
e-mail: zbigniew.perski@us.edu.pl
tel. 32 3689 317