

WSPÓLCZESNA AKTYWNOŚĆ GEODYNAMICZNA WYBRZEŻA BAŁTYKU W ŚWIETLE WYNIKÓW BADAŃ SATELITARNEJ INTERFEROMETRII RADAROWEJ INSAR I PSINSAR

RECENT GEODYNAMICS OF THE BALTIC COAST AS MEASURED WITH SAR INTERFEROMETRY INSAR AND PSINSAR

Zbigniew Perski ¹, Marek Mróz ²

¹ Katedra Geologii Podstawowej, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski

² Zakład Fotogrametrii i Teledetekcji, Uniwersytet Warmińsko - Mazurski w Olsztynie

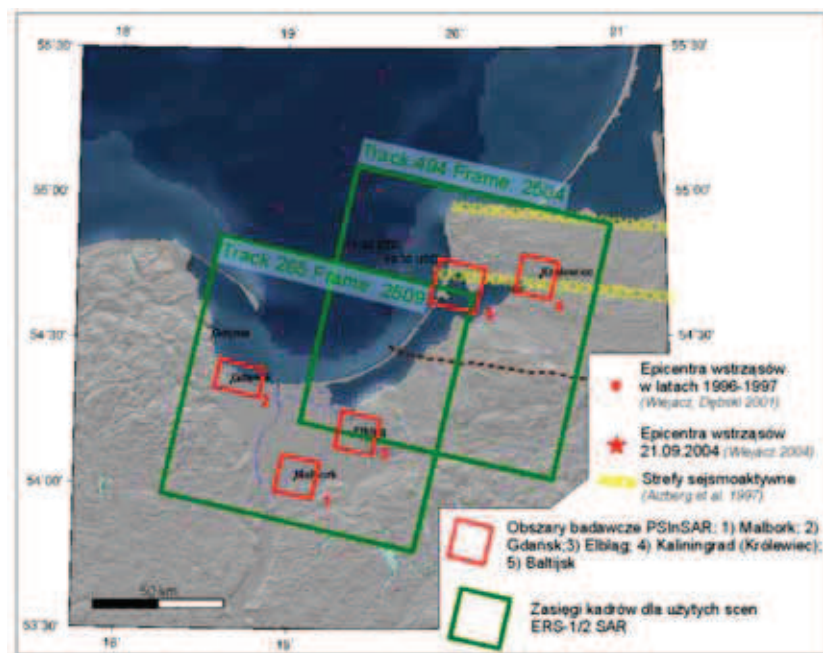
SŁOWA KLUCZOWE: satelitarna interferometria radarowa (InSAR), pionowe ruchy skorupy ziemskiej, pomiary deformacji, teledetekcja satelitarna, geodynamika

STRESZCZENIE. Badania rejonu Zatoki Gdańskiej oraz Półwyspu Sambijskiego prowadzone były w ramach projektu GEO-IN-SAR, którego celem było wykorzystanie najnowocześniejszych osiągnięć satelitarnej interferometrii radarowej (InSAR) do pomiaru zachodzących współcześnie, naturalnych ruchów powierzchni terenu na obszarze Polski i terenach przygranicznych. Dla badań wytypowane zostały trzy poligony badawcze: rejon półwyspu Sambia nawiedzonego przez silne trzęsienie Ziemi we wrześniu 2004 oraz rejon Gdańska i Elbląga. W ramach projektu została przeprowadzona analiza PSInSAR dla scen satelitarnych obejmujących swym zasięgiem rejon półwyspu Sambia i Gdańska, na poligonach badawczych zlokalizowanych w rejonach Kaliningradu, Bałtyjska, Gdańska i Elbląga. Do analiz wykorzystano łącznie 117 obrazów z satelitów ERS-1 i ERS-2, na podstawie których wygenerowano odpowiednio 57 interferogramów dla obszaru Gdańska i 60 dla rejonu pół. Sambia. Dla wszystkich poligonów uzyskano zadowalające zagęszczenie rozpraszaczy stabilnych. Wyniki pomiarów deformacji wskazują na istnienie pionowych ruchów terenu o genezie geodynamicznej jak i antropogenicznej.

1. WSTĘP

Obszar półwyspu Sambia był miejscem jednego z najsilniej odczuwalnych na terenie Polski trzęsień Ziemi. Wstrząsy, o magnitudzie dochodzącej do 5.0 (Wiejacz 2004, Gregersen et al. 2007) miały miejsce 21 września 2004 roku i zlokalizowane były pod dnem Bałtyku u wybrzeża półwyspu (Rys. 1). Lokalizacja wstrząsów pokrywa się z opisywaną w literaturze tak zwaną Kaliningradzko-Litewską strefą potencjalnie sejsmoaktywną (Aizberg et al. 1999). Strefa została zidentyfikowana na podstawie przesłanek geologicznych tj. występowania silnych deformacji neotektonicznych oraz przesłanek teledetekcyjnych - lineamentów satelitarnych. Dla strefy tej magnitudę potencjalnych wstrząsów określono na $M_{max} = 4.0$. Geneza zaistniałych we wrześniu 2004 wstrząsów ma najprawdopodobniej związek z izostatycznym post-glacialnym podnoszeniem się półwyspu skandynawskiego (Nikonov 2006). Występowanie wstrząsów jak i stref sejsmoaktywnych sugeruje, że ruchy izostatyczne mogą zachodzić blokowo, a różnice prędkości podnoszenia poszczególnych bloków mogą powodować

wstrząsy tektoniczne. W ramach pomiarów deformacji metodą InSAR podjęto próbę określenia deformacji regionalnych obszaru Sumbii przy zastosowaniu technologii InSAR dla danych archiwalnych, mającą na celu odtworzenie przebiegu deformacji w ciągu ostatnich 10 lat. Celem tych badań było zweryfikowanie hipotezy o blokowym charakterze ruchów izostatycznych.



Rys.1. Lokalizacja użytych scen satelitarnych oraz obszarów badawczych dla PSInSAR

Badania prowadzono w ramach projektu GEO-IN-SAR, którego celem jest wykorzystanie najnowocześniejszych osiągnięć satelitarnej interferometrii radarowej (InSAR) do pomiaru, zachodzących współcześnie, naturalnych ruchów powierzchni terenu na obszarze Polski i terenach przygranicznych. W ramach projektu GEO-IN-SAR wytypowane zostały trzy poligony badawcze: rejon Półwyspu Sumbia, wraz z obszarem Warmii i Pomorza, obszar Wrocławia wraz z terenem rowu tektonicznego Paczkowa, charakteryzujący się występowaniem współcześnie aktywnych uskoku tektonicznych (Perski et al. 2007, Perski, Mróz 2007) a także rejon Podhala (Perski 2008).

2. METODYKA I PRZETWARZANIE DANYCH SATELITARNYCH SAR

2.1. Metody InSAR i PSInSAR

Interferometria SAR (InSAR) to technika służąca do uzyskiwania informacji dotyczących względnych danych wysokościowych w oparciu o różnice faz satelitarnych zobrażeń mikrofalowych SAR (*Synthetic Aperture Radar*) rejestrowanych w różnym

czasie. Największe ograniczenia metody InSAR wiążą się z tzw. dekorrelacją czasową, która związana jest ze zmianami właściwości elektromagnetycznych lub/i pozycją rozpraszacza w obrębie obszaru odpowiadającego rozdzielczości terenowej piksela. Kolejnym ograniczeniem metody InSAR jest występowanie tzw. artefaktów atmosferycznych, które w przypadku pojedynczego lub kilku interferogramów są bardzo trudne lub wręcz niemożliwe do usunięcia. Z powodu wymienionych ograniczeń praktyczne użycie tej metody jest w większości przypadków zredukowane do danych o małych bazach czasowych, przypadków badania zjawisk o silnych deformacjach zachodzących w czasie pomiędzy kolejnymi rejestracjami, badania obszarów pozbawionych roślinności, przypadków, gdy oba obrazy użyte do konstrukcji interferogramu zostały zarejestrowane w tych samych bądź bardzo zbliżonych warunkach atmosferycznych.

Ominięcie podstawowych ograniczeń metody InSAR okazało się możliwe dzięki zastosowaniu metod punktowych, opartych na selekcji rozpraszaczy stabilnych. Pierwsze tego typu metody zostały opracowane w końcu lat '90 XX wieku przez zespół POLIMI z Politechniki w Mediolanie (Ferretti et al. 2001). Metody te wykorzystują właściwości naturalnych reflektorów radarowych zwanych rozpraszaczami stabilnymi PS (Persistent Scatterers, Permanent Scatterers), stąd ich nazwa PSInSAR (Persistent Scatterers SAR interferometry). Rozpraszacze takie, których właściwości omówiono w (Perski et al. 2007) charakteryzują się bardzo stabilną fazą sygnału radarowego, praktycznie niewrażliwą na zmiany geometrii obrazowania oraz warunki atmosferyczne. Nawet na terenach rolniczych, charakteryzujących się zwykle słabą koherencją w przypadku klasycznej metody InSAR liczba znajdowanych PS jest zazwyczaj znacznie większa w stosunku do możliwych do pomierzenia punktów metodami tradycyjnymi (Ketelaar et al. 2006). Podstawy metodyczne i teoretyczne zostały przedstawione szczegółowo w literaturze np. Perski, Mróz (2007), Porzycka, Leśniak (2007).

2.2 Przetwarzanie danych

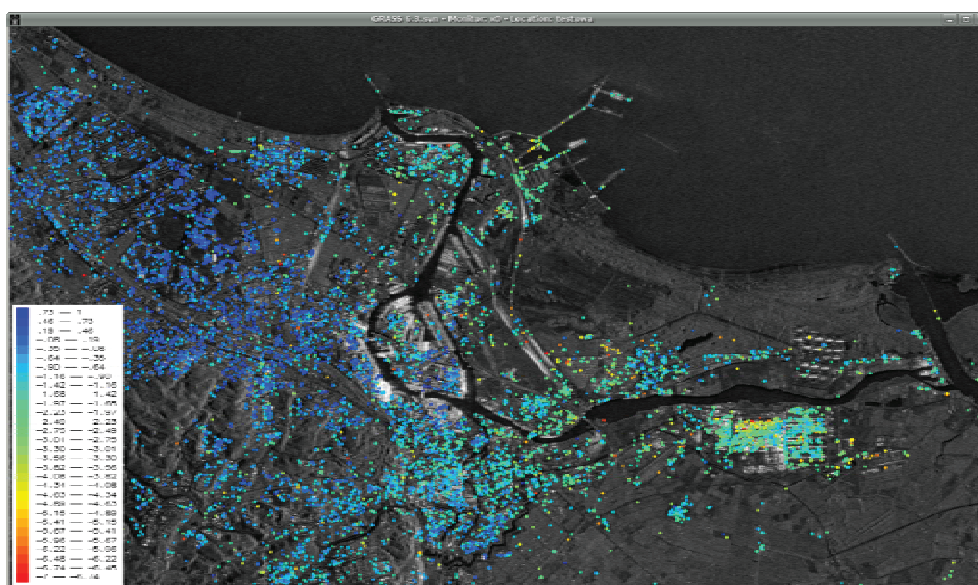
Obszar badawczy SAMBIA/WARMIA jest na tyle rozległy, że dla uzyskania pokrycia wszystkich interesujących obiektów powstała konieczność pozyskania danych SAR z dwóch niezależnych ścieżek i dwóch niezależnych, przesuniętych względem siebie kadrów (Rys. 1). Dla kadru „Warmia” pozyskano łącznie 57 rejestracji SAR z satelitów ERS-1 i ERS-2. Dla kadru „Sambia” pozyskano 60 rejestracji. Badania PSInSAR dla rejonu Malborka miały charakter metodyczny i zostały omówione już wcześniej (Perski et al. 2007).

3. OTRZYMANE WYNIKI I ICH WSTĘPNA INTERPRETACJA

3.1. Poligon badawczy „Gdańsk”

Dla obszaru Gdańska przeprowadzono przetwarzanie danych metodą PSInSAR w ramach obszaru „Warmia”. Otrzymano zbiór 25287 punktów PS (Rys. 2) rozmieszczonych w obrębie miasta i przyległych terenach przemysłowych. Rozkład przestrzenny wykazuje, że istnieją obszary podlegające stosunkowo dużym deformacjom w obrębie obszaru badań. Wielkości deformacji wykazują, że największemu obniżeniu podlegają tereny położone w dolinie Motławy i dolinie Wisły. Największe obniżanie

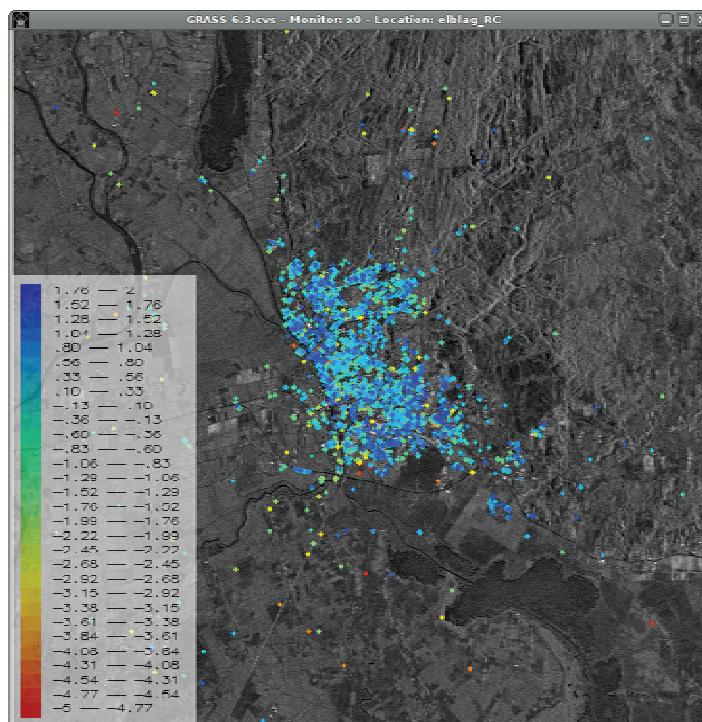
do 7 mm/rok zarejestrowano na terenach rafinerii LOTOS. Przy czym wzrost prędkości deformacji następuje wraz ze spadkiem odległości od Wisły. Duże obniżenia wykazują ponadto Westerplatte, Wisłoujście i rejon portu – do ok. 6 mm/rok. Rozmieszczenie terenów podlegających istotnemu obniżaniu związane jest z występowaniem utworów aluwialnych w dolinach rzek. Podobnie jak w omawianym poniżej rejonie Elbląga obniżanie to ma swoje przyczyny geologiczne (kompakcja i zwiększona podatność gruntu) jednak raczej nie związane z aktywnością neotektoniczną. Wskutek ograniczeń technicznych nie udało się jeszcze przeprowadzić regionalnej analizy PSInSAR dla całego obszaru Żuław. Autorzy mają jednak nadzieję na wykonanie takiej analizy w przyszłości z wykorzystaniem większych jednostek obliczeniowych.



Rys. 2. Rozmieszczenie punktów PS dla rejonu Gdańska. Kolory punktów oznaczają prędkości deformacji [mm/rok] obliczone z wykorzystaniem modelu liniowego

3.2. Poligon badawczy „Elbląg”

Dla tego samego zestawu scen SAR obliczono zbiór punktów PS dla obszaru wokół miasta Elbląga. Uzyskano łącznie 9034 punktów, co daje 28 PS/km² (z czego ok. 400 PS/km² na obszarze miasta). Większość punktów zlokalizowana jest na terenie miasta Elbląga (Rys. 3). Nieliczne punkty otrzymano na terenach wokół miasta. Odległości pomiędzy tymi punktami są bardzo duże, przez co otrzymane wyniki charakteryzują się dużymi błędami. Otrzymany rozkład przestrzenny prędkości deformacji nie wykazuje istotnych anomalii. Większość punktów charakteryzują się prędkościami od -2 do +2 mm/rok. W rozkładzie przestrzennym punktów, można jedynie zauważyć nieco zwiększone prędkości w rejonach doliny rzeki Elbląg i lokalnych potoków. Jest to spowodowane występowaniem tam utworów aluwialnych, które stanowią mniej stabilne podłoże budowlane.



Rys. 3. Rozmieszczenie punktów PS dla rejonu Elbląga. Kolory punktów oznaczają prędkości deformacji [mm/rok] obliczone z wykorzystaniem modelu liniowego

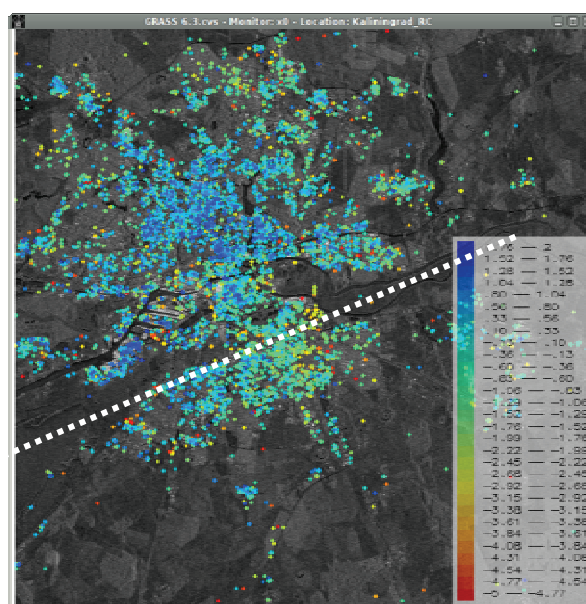
3.3. Poligon badawczy „Kalininograd” (Królewiec)

Jak już wspomniano głównym powodem podjęcia badań w obrębie półwyspu Sambijskiego było zweryfikowanie hipotezy o związku stref potencjalnie sejsmoaktywnych z silnymi trzęsieniami Ziemi, jakie miały miejsce 21.09.2004. Strefa sejsmoaktywna kaliningradzko-litewska została opisana przez Aizberga i współautorów (Aizberg et al. 1999). Rys. 1. przedstawia fragment mapy sejsmotektonicznej z oryginalnej publikacji. Położenie i przebieg strefy i jej pod-strefy północnej i południowej wyraźnie nawiązuje do przebiegu linii brzegowej i ukształtowania terenu.

Skutki trzęsienia Ziemi były badane przez zespół dr B. Assinovskiej z Laboratorium Geodynamiki Centralnego Obserwatorium Astronomicznego Rosyjskiej Akademii Nauk Pulkowo (Assinovskaya, Gorshkov 2005). Efektem tych prac było opracowanie mapy siły trzęsienia Ziemi w skali MSK-64 (Medvedev’a-Sponheuer’a-Karnik’a) oraz dokumentacja zdjęciowa deformacji i zniszczeń. Zanotowano uszkodzenia budynków w postaci pęknięć i zarysowań ścian i kominów. Zarejestrowano również deformacje powierzchni w postaci przecinających się uskoków o przebiegu NW-SE i NE-SW o długości 120m i rozwarciu szczelin do ok. 2 cm. Ze zdjęć wynika, że uskoki te o zrzucie ok. 20 cm mają charakter normalny i są raczej powierzchniową manifestacją osunięć skarp rzecznych.

Dla rejonu półwyspu sambijskiego przeprowadzono przetwarzanie PSInSAR serii obrazów ERS-1/2 SAR ze ścieżki 494 (Rys. 1). Wykorzystano 59 interferogramów.

Dla Kaliningradu (Królewca), podobnie jak w innych przypadkach, uzyskano bardzo dużą gęstość punktów PS na obszarze zwartej zabudowy miejskiej. Było to 147 punktów PSC i 25 991 punktów PS. Do obliczeń zastosowano liniowy model deformacji. Uzyskane względne prędkości deformacji wahają się w granicach -5 do +2 mm/rok. Przestrzenny rozkład tych prędkości jest bardzo charakterystyczny (Rys. 4). W świetle danych neotektonicznych (Aizberg et al. 1999) przez środek miasta, wzdłuż doliny Pregoly przebiega południowa gałąź Kaliningradzko-Litewskiej strefy sejsmoaktywnej. Rozkład przestrzenny względnych prędkości deformacji w latach 1992-2000 wykazuje, że po północnej stronie doliny Pregoly dominuje ruch wznoszący (1-2 mm/rok) w stosunku do strony południowej, która ulega względnemu obniżaniu o ok. -1 do -2 mm/rok. Wskutek ograniczeń technicznych nie udało się dotychczas przeprowadzić podobnej analizy dla większego obszaru, jednak przedstawione tu wyniki wskazują na istnienie aktywności tektonicznej w rejonie Kaliningradzko-Litewskiej strefy sejsmoaktywnej. Analiza porównawcza wyników z rejonu Kaliningradu wykazuje, że raczej nie mamy tu do czynienia z efektami antropogenicznymi bądź hydrogeologicznymi. Ostateczne określenie, czy charakter stwierdzonego ruchu ma charakter uskoku normalnego czy przesuwczego będzie wymagało dalszych studiów.



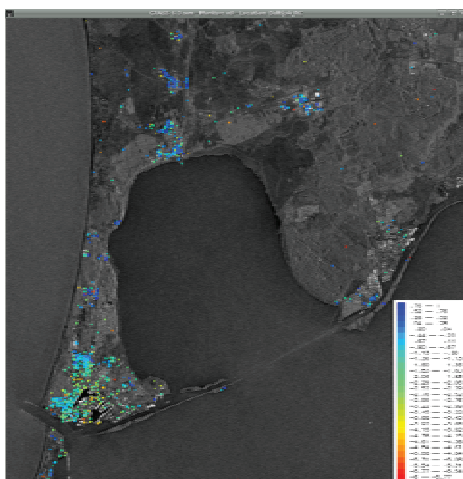
Rys. 4. Rozmieszczenie punktów PS dla rejonu Kaliningradu. Kolory punktów oznaczają prędkości deformacji [mm/rok] obliczone na podstawie modelu liniowego. Biała linia przedstawia przebieg strefy sejsmoaktywnej (Ajzberg 1999)

3.4. Poligon badawczy „Bałtijsk”

Dla potwierdzenia obserwacji z rejonu Kaliningradu przeprowadzono analizę PSInSAR dla najbardziej na zachód wysuniętego lądowego sektora strefy sejsmoaktywnej w rejonie miejscowości Bałtijsk. Bałtijsk to port wojenny u wejścia do Zalewu Wiślanego (Obwód Kaliningradzki), i jednocześnie najbardziej na zachód położone miasto Rosji. Miejscowość ta położona jest na przedłużeniu strefy

sejsmoaktywnej przechodzącej przez Kaliningrad. W stosunku do trzęsienia Ziemi z 21.09.2004 miejscowość ta powinna znajdować się najbliżej epicentrum (Rys. 5) jednak czysto wojskowy charakter obszaru sprawia, że brak jest szczegółowych danych na temat uszkodzeń jak i odczuwalności wstrząsów w tym rejonie. Mapa siły wstrząsów (Assinovskaya, Gorshkov 2005) wskazuje jednak, że wstrząsy były silniej odczuwalne w Kaliningradzie niż w Bałtiju.

Przetwarzanie danych PSInSAR dla rejonu Bałtijska prowadzono również w oparciu o dane ze ścieżki 494 i jako podstawę opracowania użyto również 59 interferogramów. Z uwagi na niski stopień zabudowania pokrycie obszaru punktami PS jest nierównomierne. Uzyskano jedynie kilka skupisk punktów PS w rejonach miejscowości Bałtisk, Primorsk i Svetłyj. Sieć PSC dla tego obszaru charakteryzuje się więc niską redundancją i słabym połączeniem pomiędzy poszczególnymi grupami punktów PS. Z tego powodu nie należy prowadzić interpretacji ruchu względnego pomiędzy poszczególnymi skupiskami, gdyż prawdopodobnie jest on obciążony bardzo dużymi błędami. Ciekawe rezultaty przynosi za to interpretacja ruchu względnego w obrębie poszczególnych skupisk. Rejony Primorska i Svetłego zawierają niewiele punktów i z tego powodu zostały pominięte w analizie szczegółowej. Na obszarze Bałtijska, bazy floty bałtyckiej Federacji Rosyjskiej zarejestrowano dużą liczbę punktów rozmieszczonych na większym obszarze. Z rozkładu prędkości w samym Bałtiju wynika, że szybszemu obniżaniu podlega najdalej wysunięta na południe część półwyspu. Obniża się ona o ok. 4mm/rok w stosunku do północnej nasady. Zmiana prędkości następuje gradacyjnie, co wskazuje na to, że nie mamy tu do czynienia z błędami przetwarzania (głównie rozwijania fazy). Jeśli przyjmiemy, że strefa sejsmoaktywna przebiega na przedłużeniu wylotu doliny Pregoly czyli gdzieś w okolicach cypla półwyspu, otrzymany rozkład przestrzenny deformacji jest niemal taki sam jak w rejonie Kaliningradu: północne skrzydło strefy podnosi się o ok. 4 mm względem skrzydła południowego. Przetwarzanie danych dla rejonu Bałtijska przeprowadzono zupełnie niezależnie w stosunku do rejonu Kaliningradu. Potwierdza to prawidłowość wcześniejszych obserwacji.



Rys. 5. Rozmieszczenie punktów PS dla rejonu Bałtijska. Kolory punktów oznaczają prędkości deformacji [mm/rok] obliczone na podstawie modelu liniowego

4. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono z konieczności jedynie bardzo ogólnikowy opis i interpretację otrzymanych prędkości przemieszczeń. Wyniki mają charakter wstępny i wymagają dalszego opracowania. Opracowano jedynie małe obszary na podstawie pojedynczej serii danych stąd przedstawiona próba ich interpretacji ma charakter nieco hipotetyczny, choć pozostający w zgodności z istniejącą wiedzą na temat dynamiki obszaru. Dalsze prace polegać będą przede wszystkim na weryfikacji wyników poprzez porównanie ich z wynikami przetwarzania tego samego zestawu danych SAR przy zmienionych parametrach takich jak: inna scena referencyjna lub/i punkt referencyjny. Konieczna jest także wnikliwa analiza i weryfikacja założonych punktów odniesienia dla konstrukcji sieci PS oraz zasadność użycia modelu liniowego. Planuje się także wykonanie testów z innymi modelami deformacji oraz algorytmami adaptacyjnymi (tj. pozwalającymi testować wiele modeli).

Metoda PSInSAR jest techniką oportunistyczną, wykorzystującą właściwość danych jaką jest obecność rozpraszaczy stabilnych. Rozmieszczenia i liczby rozpraszaczy nie da się określić przed przetworzeniem danych. Rozpraszacze reprezentują bowiem obiekty o dobrej co prawda charakterystyce odbicia sygnału radarowego ale o bardzo różnej genezie i mechanice przemieszczeń (Perski et al. 2007). Potrzebne jest ponadto opracowanie efektywnej i wiarygodnej metodyki porównywania danych PSInSAR z danymi niwelacyjnymi.

Prace badawcze sfinansowano w ramach projektu badawczego MNiSW : 4T12E 043 29.

5. LITERATURA

- Aizberg R., Garetsky R., Aronov A., Karabanov A., Safonov O., 1999. Sesmotectonics of Belarus and the Baltic Sea Region. *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geosynoptyka I Geotermia* 1, 28-37.
- Assinovskaya B.A., Gorshkov V.L. 2005. 2004 September 21 Kaliningrad earthquake and its manifestations in Saint-Petersburg. *Life and security*. 2005, Vol. 1, 25-30 (<http://www.gao.spb.ru/personal/assin/>).
- Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F., 2001. Permanent Scatterers in SAR Interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 39(1), s. 8-20.
- S. Gregersen, P. Wiejacz, W. Dębski, B. Domanski, B. Assinovskaya, B. Guterch, P. Mäntyniemi, V.G. Nikulin, A. Pacesa, V. Puura, A.G. Aronov, T.I. Aronova, G. Grünthal, E.S. Husebye and S. Sliupa 2007. The exceptional earthquakes in Kaliningrad district, Russia on September 21, 2004. *Physics of The Earth and Planetary Interiors*, Vol. 164, (1-2), 63-74.
- Ketelaar, G., Leijen, F.v., Marinkovic, P., Hanssen, R., 2006. On the use of Point Target Characteristics in the Estimation of Low Subsidence Rates due to Gas Extraction in Groningen, the Netherlands, *Fourth International Workshop on ERS/Envisat SAR Interferometry, 'FRINGE05'*, Frascati, Italy, 28 Nov-2 Dec 2005, s. 6 CD-ROM.
- Nikonov A. A. 2006. Source Mechanism of the Kaliningrad Earthquake on September 21, 2004 *Doklady Earth Sciences*, 2006, Vol. 407, No. 2, pp. 317-320.

Perski, Z., Ketelaar, G., Mróz, M., 2007. Interpretacja danych Envisat/ASAR o przemiennej polaryzacji na obszarach zurbanizowanych w kontekście charakterystyki stabilnych rozpraszaczy (persistent scatterers). *Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji*, Vol. 16, s. 467-482.

Perski, Mróz 2007. Zastosowanie metod interferometrii radarowej InSAR do badania naturalnych ruchów powierzchni terenu w Polsce. Projekt GEO-IN-SAR. *Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji*, 17: 613 –624.

Perski 2008. Współczesna aktywność tektoniczna Tatr i Podhala w świetle wyników badań satelitarnej interferometrii radarowej InSAR i PSInSAR. W: Tatrzańskie Mapy Geologiczne, Zakopane 27-29.05.2008. (Abstrakt)

Porzycka, S., Leśniak, A., 2007. Przetwarzanie obrazów radarowych techniką PSInSAR - opis metody. *Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji*, Vol. 17, 661 –670.

Wiejacz P. 2004. Preliminary investigation of the September 21, 2004, earthquakes of Kaliningrad region Russia. *Acta Geoph. Polonica* vol. 52, no.4,

Wiejacz P. Dębski W. 2001. New observations of Gulf of Gdansk seismic events. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 123, 233–245.

RECENT GEODYNAMICS OF THE BALTIC COAST AS MEASURED WITH SAR INTERFEROMETRY INSAR AND PSINSAR

KEY WORDS: SAR interferometry (InSAR), vertical earth crust movements, deformation measurements, satellite-aided remote sensing, geodynamics

Summary

Within the framework of the GEO-IN-SAR project, a study was carried out in the Gulf of Gdańsk and on the Sambia Peninsula. The project was aimed at applying the newest achievements in SAR interferometry to measure recent natural terrain vertical movements in Poland and in adjacent areas. Three areas in which substantial movements were expected selected as study sites: Sambia/Gdansk, Wrocław and Podhale, and Sambia Warmia. An additional reason for including the Sambia/Gdansk area was its high seismic activity: on 21 September 2004, the area was affected by a relatively strong ($M=4$ to 5) earthquake.

PSInSAR analysis was completed for the ERS-1/2 SAR scenes (two separate frames) covering the Sambia Peninsula and the Gulf of Gdańsk coast. 117 SAR scenes were used and detailed analyses were performed for the following locations: Gdańsk, Elbląg, Kaliningrad, and Baltijsk. PSInSAR results for all the locations mentioned showed evidence of surface movements. The origin of that deformation might be related to shallow geology and industrial activity (Gdańsk, Elbląg) as well as to seismotectonics (Kaliningrad and Baltijsk).

dr Zbigniew Perski
e-mail: Zbigniew.Perski@us.edu.pl
telefon: +48 323689226
fax: +48 322915865

dr hab. inż. Marek Mróz
e-mail: Marek.Mroz@uwm.edu.pl
telefon: +48 895234915
fax: +48 895233210