

# Satelitarna technologia radarowa wsparciem w budownictwie

W ciągu ostatnich kilkunastu lat nastąpił dynamiczny rozwój technologii satelitarnych. Dostarczają one danych, które wykorzystywane są przez coraz szerszą grupę użytkowników. Pomiar satelitarne stanowią cenne źródło informacji nie tylko dla naukowców i przedsiębiorców zapoznanych z technologią kosmiczną, ale także dla firm, które nie są bezpośrednio związane z tą branżą. Ostatnie lata pokazują również, że polskie instytucje coraz mocniej angażują się m.in. w rozwój nowych metod przetwarzania danych satelitarnych, a także w budowanie komponentów sprzętowych wykorzystywanych przez światowe agencje kosmiczne.

tekst: **STANISŁAWA PORZYCKA-STRZELCZYK, JACEK STRZELCZYK**, SATIM Monitoring Satelitarny Sp. z o.o.



Pracownicy naukowcy zakładający firmy i łączący naukę z biznesem to w tej chwili już nie wyjątek, lecz coraz częściej obowiązujący trend. AGH zawsze słynęła z dobrych relacji z biznesem i z przemysłem, ale firmy tworzone przez naukowców, stanowią nadal pewnego rodzaju novum. Działalność spółki SATIM jest świetnym przykładem przedsiębiorczości i wykorzystania najnowocześniejszych technologii związanych z branżą kosmiczną. Nie chcemy zatrzymać się na kształceniu studentów i realizacji projektów wspólnie z firmami – wiedzę i umiejętności naszych badaczy możemy z powodzeniem komercjalizować również w taki sposób. Po to właśnie powołaliśmy INNOAGH, którego celem jest kompleksowe wsparcie naszych naukowców przy zakładaniu innowacyjnej działalności gospodarczej. Cieszę się, że jedną z pierwszych tego typu firm jest właśnie SATIM, założony przez badaczy z Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska. Tak dokładne zobrażenia satelitarne nie są jeszcze często wykorzystywane przez potencjalnie zainteresowane podmioty, ale to się zmienia, ponieważ ta technologia dostarczyć może wielu niezwykle cennych danych. Jestem przekonany, że ich wiedza i profesjonalizm przyniosą zysk uczelni, ale także im samym oraz ich klientom i partnerom.

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Słomka, rektor Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie

## Techniki satelitarne – widok na przyszłość

Przystąpienie Polski do Europejskiej Agencji Kosmicznej (European Space Agency ESA) w 2012 r. pozwoliło jeszcze bardziej zintensyfikować te działania. Plan rozwoju sektora kosmicznego, który został opracowany w 2013 r. przez polskie ministerstwa – przy wsparciu firm i instytucji z branży – dodatkowo potwierdza zainteresowanie Polski korzystaniem z najnowszych technologii kosmicznych. Przygotowany program zakłada m.in. wzrost kompetencji polskich firm i administracji w dziedzinie wykorzystania zobrażeń satelitarnych. Beneficjentami wymienionych działań mogą być wszystkie instytucje, które przez zastosowanie technologii kosmicznych mogłyby usprawnić swoją działalność lub uzupełnić bądź nawet zastąpić dotychczas wykorzystywane pomiary tymi wykonywanymi z pułapu satelitarnego. Branże, które szczególnie mogą skorzystać na wdrożeniu omawianych technologii, to górnictwo i budownictwo inżynieryjne. W dziedzinach tych wykorzystywane mogą być dane pozyskiwane z wielu różnych sensorów satelitarnych.

### Satelitarne dane radarowe

Wśród typów zobrażeń satelitarnych, które mogą być bardzo użyteczne w budownictwie inżynieryjnym, na szczególną uwagę zasługują dane radarowe. Pozyskiwane są one za pomocą systemu SAR (Synthetic Aperture Radar) umieszczonego na pokładzie satelity krążącego na orbicie okołobiegunowej na wysokości ok. 700–800 km nad naszymi głowami. SAR to radar z tzw. anteną syntetyzowaną, wysyłający w kierunku powierzchni Ziemi promieniowanie mikrofalowe i rejestrujący sygnał, który po odbiciu od różnego rodzaju obiektów wraca do anteny odbiorczej. To właśnie parametry opisujące powracającą falę radarową są analizowane w celu pozyskania informacji o obrazowanej powierzchni. SAR jest systemem aktywnym, co oznacza, że emituje on promieniowanie elektromagnetyczne. Dzięki temu możliwy jest monitoring powierzchni Ziemi zarówno w dzień, jak i w nocy. Zastosowanie mikrofal sprawia, że system jest znacznie bardziej odporny na niekorzystne warunki atmosferyczne niż w przypadku klasycznych zobrażeń optycznych, które możemy oglądać np. w aplikacji Google Earth.

Dane SAR bardzo rzadko analizowane są w sposób bezpośredni. W celu pozyskania informacji o obrazowanej powierzchni obrazy te muszą zostać odpowiednio przetworzone. Najszerzej stosowane metody przetwarzania tego typu danych to InSAR (Interferometric SAR), DInSAR (Differential InSAR) i PSInSAR (Permanent Scatterer InSAR). Pierwsza z nich służy do tworzenia cyfrowych modeli terenu. Dwie kolejne metody umożliwiają pomiar pionowych przemieszczeń terenu z milimetrową dokładnością. Na świecie obrazy z radarów satelitarnych wykorzystywane są również przez rozmaite sztaby zarządzania kryzysowego, w górnictwie, w rolnictwie do monitoringu nawodnienia gleby i wzrostu roślin, do badania stabilności poszczególnych obiektów, takich jak budynki, mosty, wiadukty, tamy, itp., do monitorowania stanu lasów, analizowania zmian zagospodarowania terenu, czyli badań, w jaki sposób rozwijają się miasta w ciągu lat, a także do badania osuwisk.

Obecnie na orbitach okołozemskich znajduje się kilka satelitów wyposażonych w system SAR. Wśród nich wymienić można m.in. TerraSAR-X i TANDEM-X, których właścicielem

jest Niemiecka Agencja Kosmiczna, RadarSAT-2 zarządzany przez Kanadyjską Agencję Kosmiczną, czy COSMO-SkyMed zarządzany przez Włoską Agencję Kosmiczną. W roku 2014 na orbicie umieszczone zostały dwa dodatkowe systemy do pozyskiwania danych radarowych. Pierwszy z nich to PAL-SAR-2, który wyniesiony został na pokładzie japońskiego satelity ALOS-2. Drugi, szczególnie istotny dla użytkowników danych SAR, to system radarowy satelity Sentinel-1 Europejskiej Agencji Kosmicznej. Obrazy pozyskiwane przez Sentinel-1 będą udostępniane bezpłatnie, co znacznie zredukuje koszty wykorzystania satelitarnej technologii radarowej. Ze względu na stosunkowo dużą liczbę pracujących obecnie satelitarnych systemów SAR dane przez nie pozyskiwane bez trudności można nabyć zarówno bezpośrednio od agencji kosmicznych, jak i z pomocą firm pośredniczących, które działają także na rynku polskim. Znacznie trudniejsze okazuje się jednak samo dobranie odpowiednich parametrów zobrażeń w zależności od zadania, do którego mają być one wykorzystane. Tutaj również użytkownicy mogą liczyć na wsparcie firm dostarczających dane SAR.

### Zastosowanie satelitarnych zobrażeń radarowych

Jednym z głównych zastosowań danych SAR jest ich wykorzystywanie do monitoringu pionowych przemieszczeń terenu zarówno o charakterze naturalnym, jak i antropogenicznym. Na ich podstawie możliwe jest równoczesne badanie nawet bardzo dużych obszarów (o powierzchni tysięcy km<sup>2</sup>) z centymetrową, a nawet milimetrową dokładnością. Dzięki wykorzystaniu metody DInSAR wyznacza się wartości pionowych osiadań terenu, które wystąpiły w określonym przedziale czasu (najczęściej od jednego do kilku miesięcy). Analiza wykonywana jest na podstawie dwóch obrazów radarowych, które obejmują obszar badań i wykonane były odpowiednio na początku i na końcu analizowanego przedziału czasu.

Możliwości i ograniczenia metody DInSAR zależą od kilku czynników. Najważniejsze z nich to rodzaj wykorzystanych danych SAR (z jakiego satelity zostały pozyskane, z jaką rozdzielczością przestrzenną), analizowanego obszaru (czy teren jest zabudowany, czy niezabudowany) i analizowanego okresu. Najlepsze wyniki otrzymuje się w przypadku monitoringu obszarów zabudowanych dla stosunkowo niedużego przedziału czasowego. Dane SAR pozwalają wykonywać badania zarówno z wysoką dokładnością, jak i rozdzielczością przestrzenną, ale także z bardzo dobrą rozdzielczością czasową. Pomiary pionowych przemieszczeń terenu otrzymywane na podstawie danych satelitarnych mogą być wykonywane dla danego obszaru nawet co kilka dni.

Metoda DInSAR znalazła zastosowanie m.in. w badaniu deformacji terenu spowodowanych prowadzoną eksploatacją górnictwem. Pozwala ona wyznaczyć niekiedy osiadania wywołane wydobyciem kopaliny. Na rycinie 2 przedstawiono wyniki analizy danych SAR dla obszaru położonego w powiecie biełuńsko-lędzińskim, gdzie prowadzona jest podziemna eksploatacja. Badania wykonała firma SATIM Monitoring Satelitarny na podstawie danych pozyskanych z satelity TerraSAR-X, który wykorzystuje fale o długości 3,1 cm. Na wskazanej rycinie przedstawiono zarówno lokalizację, jak i zdjęcie optyczne obszaru badań, a także jeden z ważniejszych produktów analizy DInSAR, którym jest interferogram. Wyobraża on

zidentyfikowane pionowe przemieszczenia terenu za pomocą tzw. prążków interferencyjnych. Te z kolei prezentowane są przy użyciu palety kolorów (od koloru czerwonego do czarnego). Jeden cykl kolorów świadczy o wystąpieniu pionowych przemieszczeń terenu o wartościach równych połowie długości fali wykorzystywanej przez system SAR. Na przeanalizowanym obszarze wyróżnić można dwie niecki osiadania. Dla większej z nich, położonej w północnej części badanego terenu, dla rozpatrywanego przedziału czasu od 5 do 27 lipca 2011 r. stwierdzono osiadania terenu rzędu 4,5 cm. W analizie DInSAR interferogram przekształcający jest na standardową mapę pionowych przemieszczeń terenu, która jest znacznie czytelniejsza dla użytkowników niezwiązanych z technikami radarowymi.

Dane SAR wykorzystane mogą być również do badania pionowych przemieszczeń terenu poszczególnych elementów infrastruktury powierzchniowej, takich jak budynki, mosty, wiadukty czy wieże, które są dobrymi rozpraszaczami radarowymi (tzw. punkty PS, Permanent Scatterers). W tym celu dane radarowe przetwarzane są za pomocą metody PSInSAR. Opiera się ona na analizie zestawu kilku, kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu obrazów radarowych tego samego obszaru, lecz wykonanych w różnym czasie. Metoda PSInSAR pozwala wyznaczyć średnie szybkości przemieszczeń tylko dla stabilnych rozpraszaczy radarowych, a nie jak w przypadku metody DInSAR, dla każdego punktu terenu. W wyniku analizy PSInSAR otrzymuje się mapę punktów PS, dla których wyznaczona jest średnia szybkość pionowych przemieszczeń terenu, najczęściej w mm na rok. Technika stabilnych rozpraszaczy sprawdza się bardzo dobrze w przypadku monitoringu obszarów zabudowanych, dla których zagęszczenie punktów pomiarowych PS może przekraczać nawet 30 tys. na km<sup>2</sup>. Wykorzystując serię obrazów radarowych, możliwe jest wyznaczenie wartości deformacji terenu z dokładnością milimetrową, a także monitoring stabilności poszczególnych elementów infrastruktury powierzchniowej w horyzoncie czasowym kilku czy kilkunastu lat. Na rycinie 3 przedstawiono wyniki analizy PSInSAR dla fragmentu Warszawy. Badania wykonane zostały przez firmę SATIM Monitoring Satelitarny na podstawie danych pozyskanych z satelity TerraSAR-X.

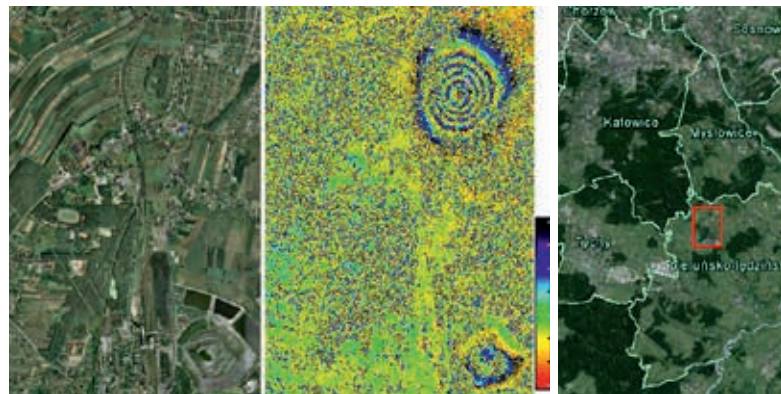
Do głównych wad metod DInSAR i PSInSAR należy ich niska użyteczność w monitoringu obszarów niezabudowanych, np. lasów czy łąk. Dla tego rodzaju terenów wyznaczenie pionowych przemieszczeń terenu jest utrudnione lub czasem nawet niemożliwe. W takich przypadkach najczęściej na powierzchni montuje się specjalne reflektory radarowe, które mocno odbijają fale wysyłane przez system SAR i pomagają w pozyskaniu informacji o deformacjach terenu.

## Podsumowanie

Z punktu widzenia szeroko pojętego budownictwa inżynierskiego satelitarne dane radarowe są bardzo użyteczne. Pozwalają one w krótkim czasie pozyskać dane na temat stabilności poszczególnych obiektów lub stosunkowo dużych terenów. Informacje takie są bardzo przydatne podczas planowania, wykonywania i monitoringu istniejących inwestycji inżynierskich, takich jak kopalnie, mosty, wiadukty, budynki itp. Techniki monitoringu osiadań terenu są już tak dobrze rozwinięte i sprawdzone, że stanowią podstawę do świad-



Ryc. 1. Satelity TerraSAR-X i TanDEM-X, źródło: spacefellowship.com



Ryc. 2. Zdjęcia optyczne wraz z wynikami analizy DInSAR



Ryc. 3. Wyniki analizy PSInSAR dla fragmentu Warszawy. Kolor punktu określa prędkość osiadania bądź podnoszenia terenu

czenia komercyjnych usług dla zainteresowanych instytucji i przedsiębiorstw.

W Polsce bardzo niewiele firm oferuje wykonanie analiz satelitarnych danych radarowych. Jedną z nich jest firma SATIM Monitoring Satelitarny, która została założona w 2012 r. przez naukowców pracujących na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Firma wykorzystuje techniki radarowe m.in. do badania osiadań terenu.