

## Streszczenie

Wyznaczanie wielkości deformacji terenu może być realizowane poprzez zastosowanie różnych metod pomiarowych, takich jak na przykład niwelacja, grawimetria, fotogrametria, skaning laserowy, systemy nawigacji satelitarnej, techniki radaru z syntetyczną aperturą (SAR). Dla zapewnienia ciągłości procesu kontroli przemieszczeń wielkoobszarowych konieczne jest zastosowanie przynajmniej jednej z wyżej wymienionych geodezyjnych metod pomiarowych. Natomiast osiągnięcie wysokiej rozdzielczości deformacji czasowo-przestrzennych może stanowić wyzwanie przy zastosowaniu tylko jednej techniki. Z tego względu wykorzystanie kilku komplementarnych metod pomiarowych daje możliwość stworzenia kompleksowego systemu wyznaczania wartości i prędkości trójwymiarowych deformacji. Niniejsza rozprawa doktorska została ukierunkowana na wykorzystanie zalet oraz zredukowanie ograniczeń technologii Globalnych Systemów Nawigacji Satelitarnej (GNSS) i interferometrii radarowej (InSAR) poprzez opracowanie nowej metodologii wyznaczania nieliniowych deformacji terenu z użyciem filtru Kalmana.

Niewątpliwą zaletą metody GNSS jest możliwość ciągłego monitorowania zmian powierzchniowych w przestrzeni trójwymiarowej. Co więcej, rozwój metod estymacji GNSS pozwala na określenie precyzyjnych współrzędnych ze stosunkowo niewielkim opóźnieniem (sięgającym od kilku sekund do kilkudziesięciu minut). Do ograniczeń technologii GNSS zaliczyć natomiast należy zakres przestrzenny wykonywanych pomiarów. Deformacje mogą być mierzone jedynie w punkcie, w którym została usytuowana antena GNSS. Ponadto zakup, montaż i konserwacja aparatury badawczej może wiązać się z wysokimi kosztami. W celu utworzenia naziemnego systemu monitorowania ruchów poziomych i pionowych na obszarze badań, konieczne jest zainstalowanie co najmniej kilkudziesięciu odbiorników GNSS. Ponadto kwestie techniczne dotyczące np. utraty zasilania mogą wpływać na przerwanie ciągłości szeregów czasowych współrzędnych.

W przeciwieństwie do techniki GNSS, metody InSAR umożliwiają badanie zmian powierzchniowych z możliwością wykorzystania darmowych produktów satelitarnych (np. Sentinel-1) i oprogramowania obliczeniowego (np. SNAP). Co więcej, charakter prowadzonych obserwacji InSAR umożliwia otrzymywanie informacji w kontekście zmian zachodzących na skalę regionalną. Zasięg zobrazowań radarowych wynosi od 5 do 250 km z rozdzielczością przestrzenną od 0.5 do 20 m. Jednakże, metoda InSAR posiada także szereg ograniczeń związanych z procedurą gromadzenia obserwacji.

Okres pomiędzy kolejnymi rewizytami satelity SAR wynosi zazwyczaj kilka dni a zobrazowanie jest możliwe do uzyskania tylko w kierunku widzenia satelity (line-of-sight). Ponadto, ze względu na prawie północno-południową orientację orbit SAR, system ma ograniczoną czułość na ruchy terenu w tym kierunku. Kolejne

ograniczenia wynikają z faktu, iż na szeregi czasowe przemieszczeń InSAR mogą wpływać np. dekorelacje fazy sygnału na obszarach pokrytych roślinnością lub innych problemów związanych z nieprawidłowym rozwinięciem fazy.

Głównym celem niniejszej pracy było opracowanie nowej metody integracji danych pozyskanych technikami InSAR i GNSS z uwzględnieniem zalet i ograniczeń tych dwóch technologii. Przedstawiona metodologia została zaimplementowana w celu monitorowania nieliniowych dynamicznych deformacji terenu, występujących na obszarach objętych eksploatacją górniczą. Opracowany proces integracji danych wykorzystuje filtr Kalmana, bazujący na szeregach czasowych współrzędnych topocentrycznych GNSS, zawierających kilkumiesięczne nieciągłości obserwacji oraz obciążone błędami deformacje zarejestrowane z kierunków orbit wstępującej i zstępującej InSAR.

**Słowa kluczowe:** GNSS, InSAR, integracja danych, filtr Kalmana, deformacja terenu, monitoring przemieszczeń