

Nowa metoda wczesnego ostrzeżenia przed deformacjami nieciągłymi terenu

# Sposób na zapadliska

Są miejsca na świecie, gdzie teren nagle się zapada. Jak wykryć nadchodzące zagrożenie? Sposób na to znaleźli naukowcy z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie i Uniwersytetu Technicznego w Delft w Holandii. Podstawą opracowanej przez nich metody jest satelitarna interferometria radarowa (InSAR).

Zapadnięcie się terenu może być skutkiem zjawisk naturalnych (kras, osuwiska) lub działalności człowieka (wyrobiska górnicze czy budowle podziemne). Powstające wówczas zapadliska, progi i szczeliny stanowią duże zagrożenie. Dotyczy ono zwłaszcza ludzi mieszkających w pobliżu terenu deformacji nieciągłych, ale także infrastruktury technicznej i zabudowy. Z takimi zjawiskami w naszym kraju mamy do czynienia szczególnie na obszarach, które nadal są pod wpływem deformacji pokopalnianych (ok. 5% powierzchni Polski).

Dotychczas jedynym skutecznym sposobem identyfikacji tego typu zagrożeń było żmudne analizowanie dokumentacji geologicznej, po czym następowały kosztowne badania geofizyczne. Zidentyfikowane w ten sposób podziemne pustki zabezpieczano, np. stosując iniekcje i podsadzanie; czasami zagrożone tereny wyłączano z użytkowania. Wiedza o potencjalnych zapadliskach pozwalała także na stosowanie ciągłego geodezyjnego monitorowania przemieszczeń powierzchni. Takie rozwiązania – zazwyczaj bardzo

kosztowne – stosowane są sporadycznie, przeważnie wtedy, kiedy teren już jest w ruchu i zagrożenie narasta, ale jest rozpoznane. Metody takie jak: pomiar GPS, tachimetria, skanowanie laserowe czy fotogrametria są użyteczne tylko do rejestracji wymiarów i lokalizacji już istniejących zapadlisk.

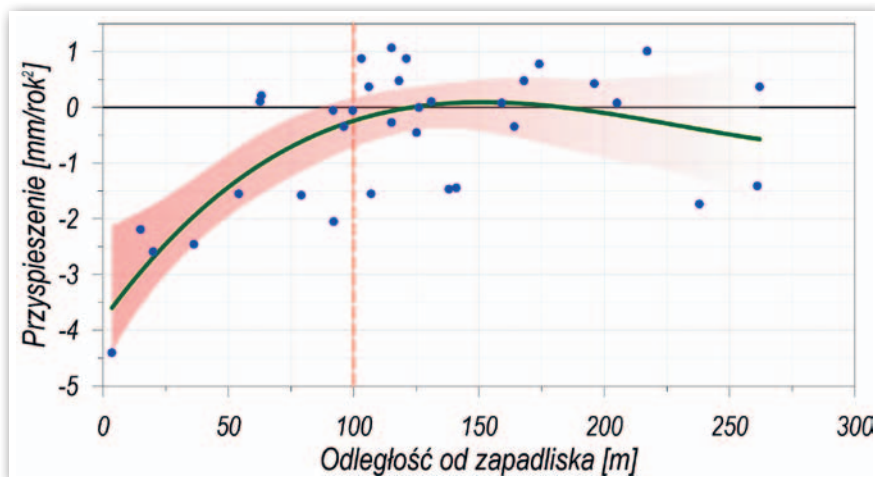
Badacze skupili się więc na poszukiwaniu metod, które pomogłyby skuteczniej zwalczać takie zagrożenia. Okazuje się bowiem, że można wykryć nadchodzące zagrożenie zapadliskowe, a tym samym odpowiednio wcześniej na nie zareagować. Nowa metoda opracowana została przez zespół naukowców z Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie oraz Uniwersytetu Technicznego w Delft w Holandii (Technische Universiteit Delft; TU Delft) w składzie: Agnieszka A. Malinowska, Wojciech T. Witkowski, Ryszard Hejmanowski, Ling Chang, Freek J. van Leijen, Ramon F. Hanssen.

Podstawą tej metody jest satelitarna interferometria radarowa (InSAR), tech-

nologia znana od kilkudziesięciu lat, ale dotychczas stosunkowo słabo przebadana w aspekcie szybkich, nagłych przemieszczeń terenu. Technologia InSAR wykorzystuje zobrazenia wykonywane przez radar zainstalowany na satelicie i analizuje zmiany fazy fali elektromagnetycznej, jakie zachodzą między kolejnymi zobrazowaniami tego samego fragmentu Ziemi. Znając m.in. długość fali, można wyznaczyć wielkości metrycznych przemieszczeń powierzchni terenu.

Przedmiotem badań były tereny dawnej płytkiej eksploatacji węgla kamiennego na Górnym Śląsku. Dla takiego obszaru studialnego analizowano zobrazenia pozyskane w latach 2003-2010 przez satelitę Envisat. Zastosowano tu metodę stabilnych rozpraszaczy (PSInSAR) oraz autorskie rozwiązanie przetwarzania i analizy danych. Metoda PSInSAR wykorzystuje elementy infrastruktury, które charakteryzują się stabilnością odbicia sygnału radarowego (punkty PS). Dzięki temu obserwowane w szeregach czasowych zmiany fazy odpowiadają za deformacje powierzchni terenu.

W badaniach stwierdzono na poziomie ufności 95%, że istnieją tzw. prekursorzy zapadliskowe, czyli stosunkowo niewielkie przemieszczenia terenu, które można zidentyfikować w pewnej odległości od przyszłego zapadliska. Te przemieszczenia występują tylko do ok. 100 m od krawędzi przyszłego zapadliska (rys. 1). Maksymalne przyspieszenia przemieszczeń wystąpiły w miejscu przyszłego zapadliska i wynosiły do  $-4,4 \text{ mm/rok}^2$ . W miarę oddalania się od zapadliska przemieszczenia pionowe malały, osiągając zerowe przyspieszenie w odległości ok. 100 m od krawędzi. Istotne było także stwierdzenie, że prekursorzy zapadliskowe są



Rys. 1. Przyspieszenie ruchów powierzchni terenu w funkcji odległości od deformacji

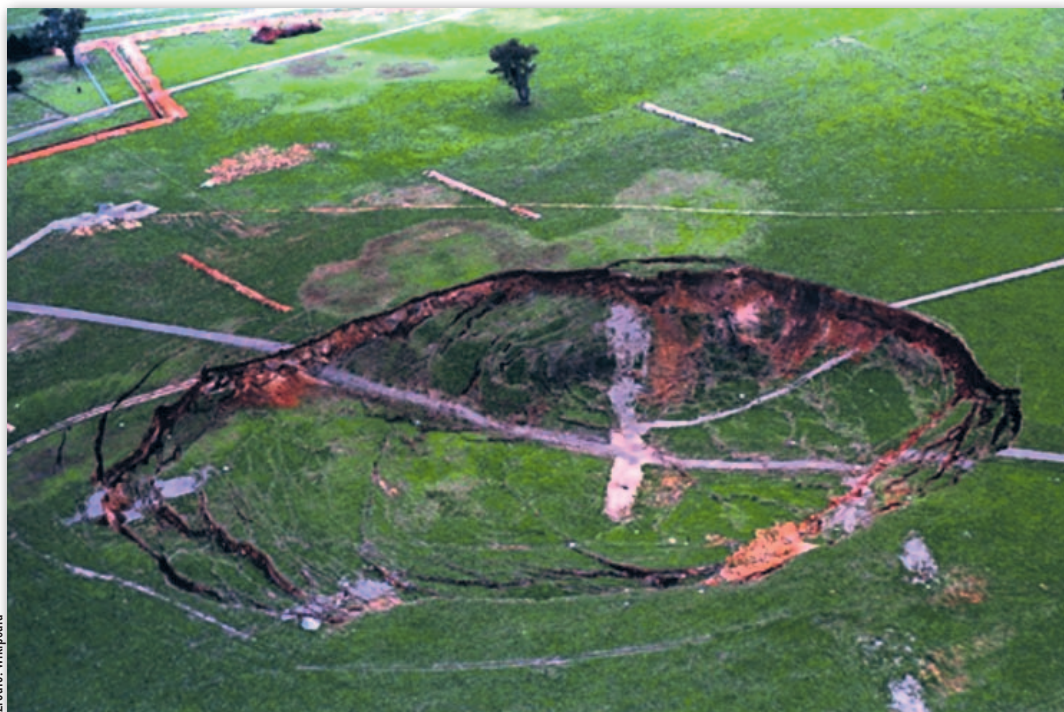
Na podstawie Engineering Geology, 2019

możliwe do zidentyfikowania już 6 tygodni przed wystąpieniem zapadliska. Jest to wystarczający czas, aby ostrzec użytkowników terenu przed zagrożeniem. [Więcej na ten temat można przeczytać w publikacji: Malinowska A.A., Witkowski W.T., Hejmanowski R., Chang L., van Leijen F.J., Hanssen R.F. „Sinkhole occurrence monitoring over shallow abandoned coal mines with satellite-based persistent scatterer interferometry”, *Engineering Geology* 262 (2019) 105336, s. 1-13].

Zespół prowadzi dalsze studia nad tym ważnym zagadnieniem. Za przebieg zjawiska odpowiada bowiem także lokalna budowa geologiczna, obciążenia dynamiczne, a przede wszystkim przyczyna występowania deformacji nieciągłych. Żeby zatem metodyka stała się uniwersalna, trzeba ją przetestować na wielu przypadkach, w zróżnicowanych warunkach. Obecnie we współpracy z naukowcami z Uniwersytetu w Johannesburgu prowadzone są badania w Republice Południowej Afryki (rys. 2).

**W**arto zaznaczyć, że prace nad zastosowaniami satelitarnej interferometrii radarowej prowadzone są w Katedrze Ochrony Terenów Górniczych, Geoinformatyki i Geodezji Górniczej krakowskiej AGH już od kilku lat. Współpraca z Europejską Agencją Kosmiczną (ESA), uczonymi z Department of Geosciences and Remote Sensing TU Delft, a także uczonymi z Uniwersytetu w Johannesburgu pozwoliła na rozbudowę zaplecza informatycznego, wykonanie własnych aplikacji wspomagających proces opracowywania i analiz interferometrycznych.

W zespole AGH od wielu lat prowadzone są również badania wpływu zjawisk sejsmicznych na ruchy powierzchni terenu [Hejmanowski R., Malinowska A.A., Witkowski W.T., Guzy A.: „An analysis applying InSAR of subsidence caused by nearby mining-induced earthquakes”, *Geosciences* 2019 vol. 9 iss. 12



Źródło: Wikipedia

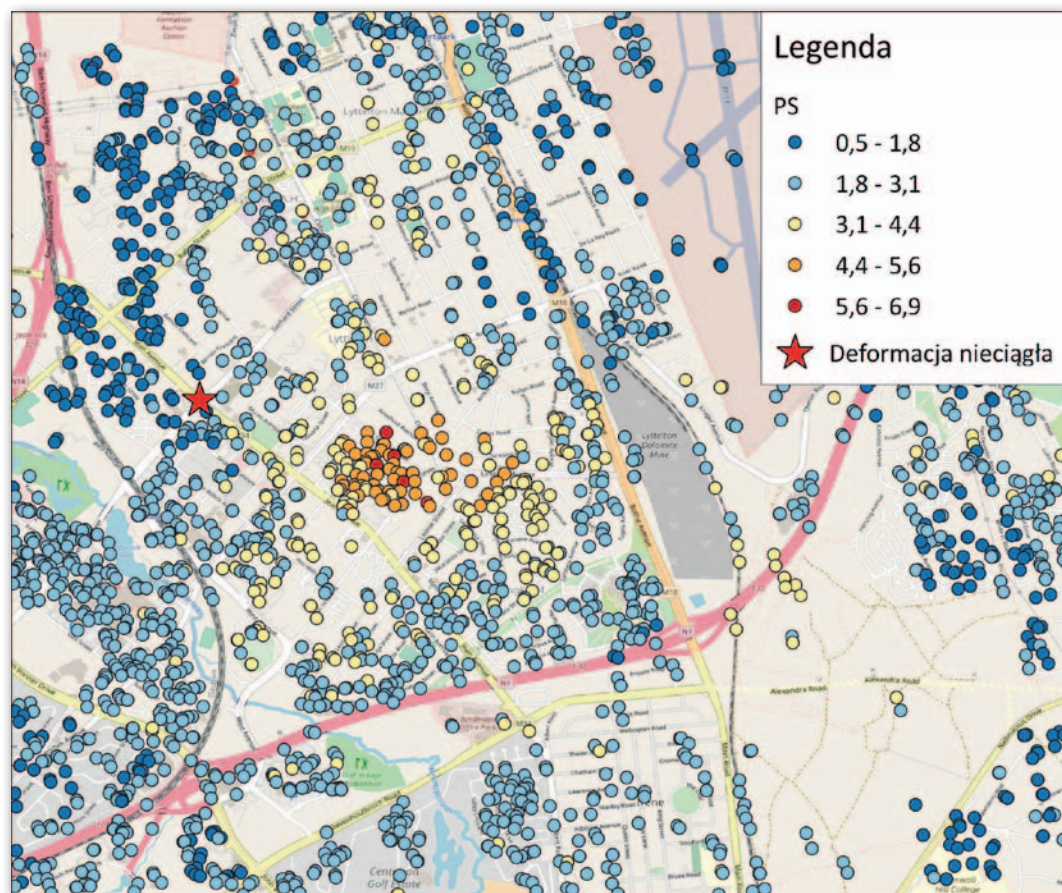
Zapadlisko na obszarze górniczym kopalni w Australii

art. no. 490, s. 1-15; <https://www.mdpi.com/2076-3263/9/12/490/pdf>]. Doświadczenie i wiedza typowe dla geodetów górniczych dają możliwość realizacji poszerzonych analiz przyczynowo-skutkowych obserwowanych zjawisk. W Katedrze rozwija się równocześnie

kształcenie studentów i doktorantów w zakresie wykorzystania i analizy omawianych zjawisk za pomocą InSAR.

**Prof. Ryszard Hejmanowski**

Katedra Ochrony Terenów Górniczych, Geoinformatyki i Geodezji Górniczej AGH w Krakowie



Rys. 2. Rozmieszczenie punktów PS w rejonie obserwowanego zapadliska w mieście Centurion w RPA