

## TELEDETEKCJA JAKO METODA MONITOROWANIA INFRASTRUKTURY KOLEJOWEJ

---

Elżbieta Pilecka

dr hab. inż., Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, Katedra Infrastruktury Transportu Szynowego i Lotniczego, tel.: 12 628 2179, e-mail: epilecka@pk.edu.pl

---

**Streszczenie.** *W artykule przedstawiono możliwości wykorzystania teledetekcji w celu monitorowania infrastruktury kolejowej. Omówiono aktualnie stosowane metody teledetekcji na różnych poziomach pomiarów: satelitarnym, lotniczym i naziemnym. Przedstawiono przykłady zastosowań teledetekcji do monitorowania infrastruktury kolejowej oraz przeprowadzono analizę zalet i ograniczeń tej metody. W ramach badań naziemnym skanerem laserowym RIEGL-400 stwierdzono przemieszczenia skarpy kolejowej na linii kolejowej nr 8 Warszawa – Kraków. W niniejszym artykule przedstawiono przykładowe wyniki z dalszych pomiarów naziemnym skanerem laserowym, którymi objęto strefy przejściowe na wiadukcie celem sprawdzenia wpływu osuwiska na wiadukt. Z przedstawionej w artykule analizy wynika, że teledetekcja naziemna w porównaniu z teledetekcją satelitarną i lotniczą wykazuje wiele pozytywnych aspektów.*

**Słowa kluczowe:** *teledetekcja, infrastruktura kolejowa, monitoring*

### 1. Wstęp

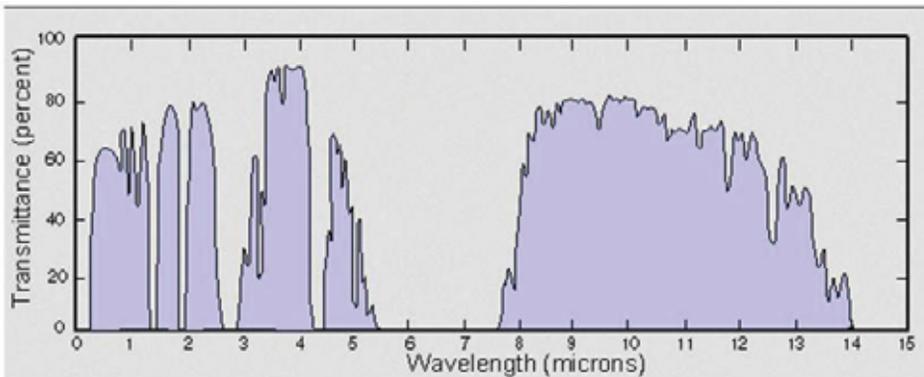
Celem artykułu jest przedstawienie teledetekcji, jako metody możliwej do wykorzystania w celu monitorowania infrastruktury kolejowej. Przedstawiono aktualnie stosowane metody teledetekcji na różnych poziomach pomiarów: satelitarnym, lotniczym i naziemnym. Podano przykłady literaturowe dotyczące monitorowania infrastruktury kolejowej oraz przeprowadzono analizę zalet i ograniczeń tej metody.

Teledetekcja (ang. *remote sensing*) to rodzaj badań wykonywanych z pewnej odległości (zdalnie, bezdotykowo) przy wykorzystaniu specjalistycznych sensorów (czujników). Badania teledetekcyjne można wykonywać z przestrzeni kosmicznej, z pokładu samolotów lub z powierzchni terenu [8]. Metody teledetekcyjne dzielą się na aktywne i pasywne. W aktywnej teledetekcji sygnał jest wysłany z instrumentu, a po odbiciu od obiektu, odbierany i analizowany. Przykładami aktywnej teledetekcji jest radar, w którym wysyłane są mikrofałe oraz lidar – w tym przypadku wysyłane jest światło. Pasywnymi metodami teledetekcji są metody oparte na analizie sygnałów emitowanych przez obserwowany obiekt (np. fotografia).

## 2. Teledetekcja

### 2.1. Teledetekcja satelitarna

Początkowo zdjęcia satelitarne wykorzystywane były tylko do celów wojskowych. Rozwój techniki i umieszczenie na orbicie okołoziemskiej wielu tysięcy różnych satelitów pozwoliło na upowszechnienie pozyskiwanych materiałów. Aktualnie teledetekcja satelitarna jest szeroko wykorzystywana w naszym codziennym życiu. W teledetekcji satelitarnej do pomiarów używa się tzw. okien atmosferycznych, są to zakresy widma promieniowania elektromagnetycznego, które przechodzą przez atmosferę (rys. 1).



Rys. 1. Przepuszczalność atmosfery [%] dla różnych długości fali elektromagnetycznej [ $\mu\text{m}$ ] [1]

Zdjęcia satelitarne różnią się między sobą rozdzielczością przestrzenną, spektralną, radiometryczną i czasową [1]. Najbardziej zauważalną cechą zdjęć jest ich rozdzielczość przestrzenna, ona bowiem decyduje o wielkości obiektów, które można dostrzec na zdjęciu. Satelita Landsat-1 wykonywał zdjęcia, których rozdzielczość przestrzenna wynosiła 80 m. Na wykonywanych przez niego zdjęciach można było dostrzec obiekty, które w rzeczywistości miały rozmiary przynajmniej  $80 \times 80$  m. Obecnie zdjęcia wykonywane przez satelity cywilne mają rozdzielczość przestrzenną ok. 25 cm. Rozdzielczość spektralna to liczba rejestrowanych zakresów promieniowania. Pierwszy satelita środowiskowy Landsat-1 i umieszczony na jego pokładzie skaner MSS wykonywał zdjęcia w czterech zakresach widma. Kolejne satelity były wyposażane w skanery rejestrujące więcej zakresów widma, a obecnie krążą po orbitach satelity wykonujące zdjęcia aż w 360 zakresach promieniowania. Zwiększanie liczby zakresów ma na celu ułatwienie rozpoznawania obiektów i pozyskiwanie nowych informacji o znanych już obiektach. Rozdzielczość radiometryczna zdjęć to z kolei liczba tonów szarych, jakie może rozróżnić i zarejestrować skaner między tonem białym a czarnym. Ta liczba wzrosła od 64 poziomów szarości w przypadku pierwszych zdjęć satelitarnych do 2048 poziomów w przypadku zdjęć wykonywanych przez współczesne satelity wysokorozdzielcze. Rozdziel-

czość radiometryczna, podobnie jak rozdzielczość spektralna, wpływa na rozpoznanie obiektów i ich charakterystykę.

Rozdzielczością czasową nazywamy okres powtórnego wykonania zdjęcia tego samego obszaru. W przypadku Landsata-1 ten okres wynosił 18 dni. Obecnie został on skrócony do 1-3 dni (w zależności od satelity), natomiast dla satelitów meteorologicznych wynosi on nawet 15 minut. Duża częstotliwość wykonywania zdjęć pozwala na monitorowanie zjawisk szybkozmiennych i ich dynamiki.

W ostatnich latach zwiększył się udział satelitów pracujących w technologii radarowej w stosunku do dotychczas przeważających ilościowo satelitów optycznych. Najnowsze satelity wykorzystujące system radarowy to np. niemieckie satelity TerraSAR-X/TanDEM-X, ENVISAR, Eye. Upowszechnianie się technologii radarowej umożliwiającej pozyskiwanie obrazów niezależnie od zachmurzenia ma istotne znaczenie dla polskiego użytkownika ze względu na warunki pogodowe, które często ograniczają dostępność zobrażeń optycznych. Obróbka zobrażeń wykonanych w paśmie mikrofalowym wymaga bardziej zaawansowanych technik przetwarzania niż tych wykonanych w paśmie optycznym stąd potrzeba bardziej zaawansowanego oprogramowania dostarczanego aktualnie przez nielicznych dostawców w skali światowej.

Do monitorowania ruchów powierzchni terenu najczęściej używane są zakresy fal radarowych. Ważna w tym przypadku jest rozdzielczość pionowa, która w technice tzw. InSAR jest rzędu ok. 2,5 cm. Odmianą metody InSAR jest technika PSInSAR, która wykorzystuje tzw. stabilne rozpraszacze. Stabilne rozpraszacze odpowiadają takim obiektom terenu jak budynki, mosty, wiadukty, latarnie, wychodnie skał itp. Technika PSInSAR sprawdza się najlepiej na obszarach zabudowanych, ponieważ najwięcej stabilnych rozpraszaczy znajduje się właśnie na takich terenach. W technice PSInSAR rejestruje się powolne zmiany deformacyjne terenu, czyli obniżenia lub podnoszenie się terenu w dłuższym czasie. Metodą tą na przykład można rejestrować milimetrowe zmiany przy osiadaniu terenu górniczego [3, 9].

Monitorowanie infrastruktury kolejowej ma na celu utrzymanie obiektów w stanie zapewniającym ich prawidłowe funkcjonowanie i bezpieczeństwo użytkownika. W tym zakresie teledetekcja satelitarna może spełniać dwa zadania. Pierwsze to monitorowanie większych obszarów. Wykorzystane tu mogą być zdjęcia satelitarne w paśmie widzialnym. Drugie zadanie to monitorowanie zagrożeń związanych z ruchami powierzchni terenu spowodowanymi np. podziemną eksploatacją kopalni, osuwiskami, ruchami neotektonicznymi. W tym zakresie pomocne są zdjęcia satelitarne radarowe. Publikacje opisujące wykorzystania zdjęć satelitarnych, w szczególności metody InSAR i PS InSAR dotyczą dynamiki większych obszarów, na których mogą znajdować się szlaki komunikacyjne.

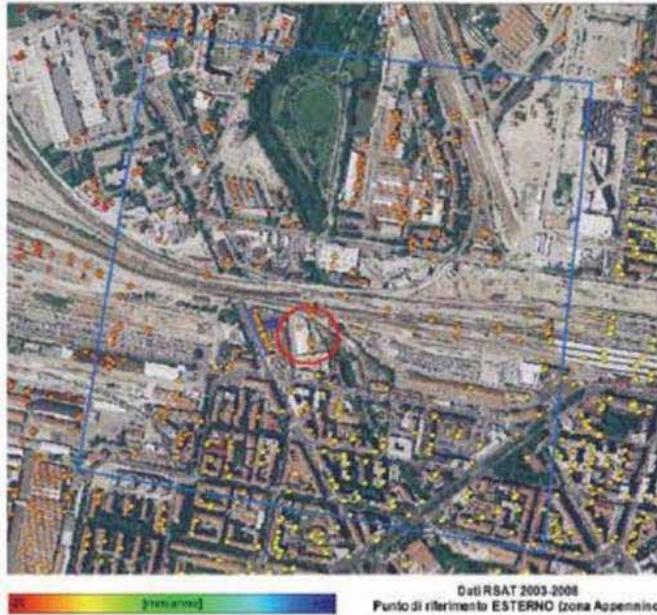
Badania metodą PS InSAR za pomocą nowego algorytmu tej metody SqueeSAR przeprowadziła włoska firma Tele-Rilevamento Europa (TRE). Monitoring dotyczył infrastruktury kolejowej i drogowej. Metoda PS InSAR może

stanowią istotny wkład na wszystkich etapach dowolnego projektu transportowego poprzez identyfikację niestabilnych obszarów dotkniętych ruchami powierzchniowymi. Monitoring przyczynia się również do ograniczania kosztów przez wstępną identyfikację obszarów, w których są konieczne bardziej szczegółowe badania. Poniżej na rys. 2 pokazano przykład monitorowania przemieszczeń autostrady i linii kolejowej we Włoszech w okresie od kwietnia 2003 roku do grudnia 2009 roku [13]. Monitoring taki może wykrywać przemieszczenia gruntu, które mogłyby zagrozić bezpieczeństwu infrastruktury kolejowej. Na rys. 3 pokazano punkty PS zidentyfikowane dla linii kolejowej szybkich prędkości w Bolonii. Określono dla nich wielkości osiadania w określonym czasie (rys. 4). Poprzez określenie naturalnych i sztucznych punktów pomiarowych naziemnych, metodą PS InSAR dostajemy mapy milimetrowych przemieszczeń wzdłuż całej długości sieci drogowych i kolejowych. Wspomaga to ocenę ryzyka i wskazuje obszary, wymagające naprawy. Monitoring deformacji podłoża daje ilościowe i jakościowe mapy deformacji i niestabilności nasypów, zapewniając rozległą sieć monitorowania dla oceny obszarów o podwyższonym ryzyku osunięcia ziemi i osiadania.

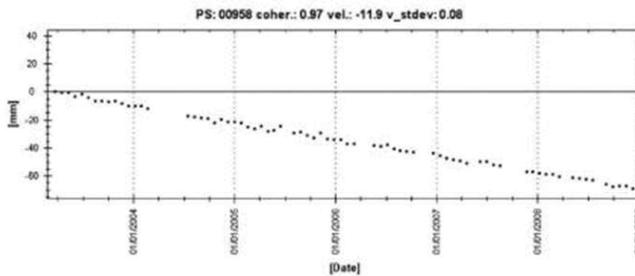
Teledetekcja satelitarna może być wykorzystana w kolejnictwie, ale ograniczeniami są wysokie koszty pozyskiwanie zdjęć satelitarnych i specjalistyczne oprogramowanie.



Rys. 2. Monitoring autostrady i linii kolejowej we Włoszech w okresie od kwietnia 2003 roku do grudnia 2009 roku (TRE) [13]



Rys. 3. Punkty PS, dla których określono prędkość osiadania na podstawie danych z satelity ERS latami 2003-2008 [10]. Okrąg pokazuje punkty przedstawione na rys. 4



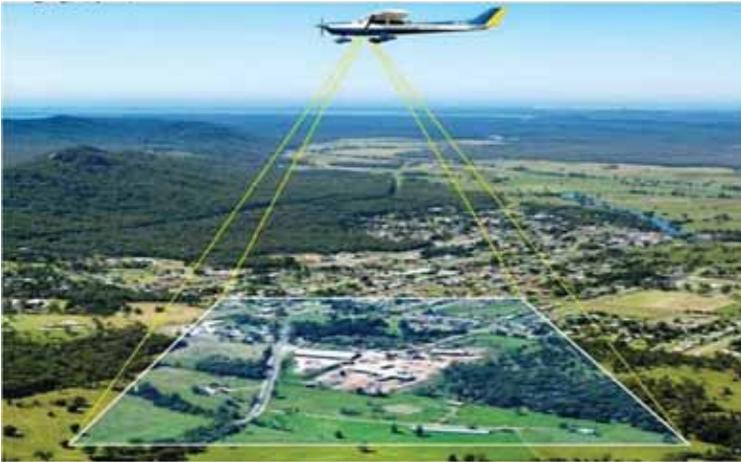
Rys. 4. Prędkość osiadania w czasie punktów PS zaznaczonych na rys. 3 [10]

## 2. 2. Laserowa teledetekcja lotnicza

Ideą teledetekcji lotniczej jest wykorzystanie skanera laserowego przenoszonego na pokładzie samolotu lub helikoptera. Metoda ta nosi nazwę LIDAR (Light Detection and Ranging) - rys. 5.

W Polsce firma wykorzystująca tą metodą stosuje najnowszy skaner LiteMapper 6800i na pokładzie lekkiego samolotu Cessna [15]. Zasada skaningu laserowego oparta jest na wyznaczaniu odległości od skanera na pokładzie samolotu do badanej powierzchni, poprzez pomiar czasu pomiędzy wysłaniem a odbiorem impulsu laserowego. Impuls laserowy dzięki właściwości przenikania przez pokrywę roślinną potrafi zarejestrować informacje o rzeczywistym ukształtowaniu terenu.

Jest to bardzo cenna cecha, zwłaszcza w górach, gdzie pokrywa lasów często maskuje drobne zmiany rzeźby terenu. Możliwe jest prawie natychmiastowe sformułowanie prognozy rozwoju deformacji terenu i określenie stopnia zagrożenia. Metoda laserowego skanowania lotniczego (rzadko stosowana głównie ze względu na wysokie koszty), okazała się niezwykle przydatna w sytuacjach awaryjnych i umożliwia sformułowanie szybkiej i dokładnej prognozy rozwoju deformacji powierzchni terenu (np. osuwisk lub osiadania terenów górniczych).



Rys. 5. Schemat teledetekcji lotniczej [14]

W Polsce badania przydatności lotniczego skaningu laserowego do pomiarów sytuacyjno-wysokościowych wzdłuż linii kolejowej została opisana w artykule [12], gdzie skupiono się na pomiarze niwelacyjnym torów kolejowych. Dla potrzeb badań na odcinku linii kolejowej Kraków-Tarnów wybrany został obszar testowy o długości ok. 25 km. Wykonano dwie rejestracje lotniczym skanerem laserowym - z wysokości 300 m i 500 m, uzyskując dwie chmury punktów o gęstości 17 i 11 pkt/m<sup>2</sup>. Dla potrzeb wyrównania geometrycznego szeregów z możliwie najwyższą dokładnością pomierzono tachimetrycznie płaszczyzny referencyjne zmaterializowane w postaci dachów budynków. Dodatkowo wykonano terenowy pomiar kontrolny trzech odcinków, każdy o długości ok. 1 km. W zakresie możliwości detekcji i aproksymacji szyn z danych ALS (*Airborne Laser Scanner*) (a pośrednio osi torów) badania te przyniosły pozytywne rezultaty. Udowodniono, iż dla potrzeb identyfikacji i pomiaru wysokości główek szyn wystarczająca jest gęstość 11 pkt/m<sup>2</sup>. Podobnie jest z pomiarem takich danych jak szerokość międzytorzy oraz szerokości i długość peronów. Większa gęstość skaningu ułatwia identyfikację i lokalizację osi słupów trakcyjnych o konstrukcji ażurowej oraz jest korzystniejsza do badania skrajni kolejowej. Niemożliwa jest natomiast do identyfikacji, gdy są obiekty małe i wąskie (tablice ostrzegawcze, wskaźniki, tarcze rozrządowe).

Ocenę i charakterystykę technologii lotniczego skaningu laserowego LIDAR, architekturę systemu, jej wady i zalety oraz ocenę dokładności przedstawiono w artykule [2]. Analizę dokładnościową lotniczego skaningu laserowego wykonano na

podstawie danych pomiaru lidarowego miasta Krakowa. Z kolei wykorzystanie lotniczego skaningu do inwentaryzacji i monitoringu osuwiska w rejonie Łańcicy (gmina Lanckorona) przedstawiono w artykule [4] (rys. 6).



Rys. 6. Cyfrowy model terenu otrzymany metodą lotniczego skaningu laserowego (LIDAR) i osuwisko z widocznym obrysem [4]

Zastosowana technika lotniczego skaningu laserowego dla terenu osuwiska w rejonie Łańcicy obejmowała wykonanie Numerycznego Modelu Terenu (NMT) oraz Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu (NMPT) na bazie chmury punktów. Wykonana została również ortofotomapa przy użyciu kamery cyfrowej digi CAM. Metoda LIDAR pozwala na szybką inwentaryzację i monitoring ruchów powierzchniowych terenu oraz podjęcie szybkich działań naprawczych we właściwych miejscach.

### 2.3. Teledetekcja naziemna

Teledetekcja naziemna realizowana jest poprzez naziemne skanery 3D. Proces skanowania laserowego polega na automatycznym pomiarze obiektów lub terenu przy bardzo wysokiej częstotliwości próbkowania - pomiaru przestrzennego (3D) w formie *chmury punktów* – liczba punktów jest rzędu dziesiątek, a nawet setek tysięcy punktów na sekundę w czasie rzeczywistym [7].

Zbiór powstałych w wyniku skanowania punktów nazywamy *chmurą punktów*, których liczba może dochodzić do wielu milionów, tworząc już na wstępie wizualizację mierzonych obiektów. *Chmura punktów* stanowi pewnego rodzaju dokumentację przestrzenną, do której możemy w każdej chwili wrócić, aby wykonać dodatkowe pomiary, analizy lub odtworzyć stan z dnia wykonania skanu.

Dokładność pomiarów wykonywanych przez skanery laserowe zależy, podobnie jak w tachimetrach elektronicznych, przede wszystkim od dokładności pomiaru odległości i dokładności wyznaczania kątów. Na jakość otrzymanych wyników składają się także inne czynniki, takie jak zdolność powierzchni do odbijania wiązki lasera, a także wpływ warunków atmosferycznych takich jak np. „oślepie-

nie” skanera mocnym światłem słonecznym, niska temperatura, gęsta mgła, czy opady deszczu oraz szata roślinna pokrywająca teren. Wszystkie te utrudnienia w skrajnych przypadkach mogą całkowicie uniemożliwić wykonanie pomiarów lub odsunąć je w czasie. Wpływ na jakość finalnego produktu ma również zakładana i wyrównywana osnowa w postaci punktów kontrolnych (odniesienia) oraz w bardzo dużej mierze proces łączenia ze sobą *chmur punktów* z różnych stanowisk pomiarowych - zwany rejestracją skanów.

Ważnym parametrem skanerów jest zdolność rozdzielcza (minimalna odległość między mierzonymi punktami) oraz tzw. wielkość plamki, której średnica rośnie wraz z odległością (w wyniku rozbieżnego charakteru wiązki promienia laserowego). Najnowsze instrumenty impulsowe mają zdolność rozdzielczą na poziomie ok. 1 mm. Rozdzielczość czasowa w przypadku naziemnych skanerów laserowych zależy od zadania i jest dobierana przez użytkownika.

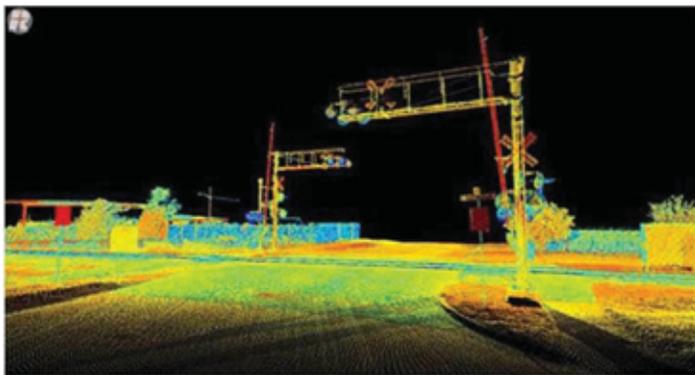
Skanowanie laserowe najczęściej wykorzystywane jest w pracach inżynierskich oraz architektonicznych, szczególnie tam gdzie występuje duża liczba miejsc niedostępnych. Znajduje ono również zastosowanie w monitorowaniu deformacji obiektów inżynierskich oraz powierzchni terenu, na którym mogą występować ruchy masowe lub osiadanie/podnoszenie terenu. Na fot. 1 widoczny jest naziemny skaner laserowy FARO, za pomocą którego przeprowadzono szczegółowe badania tuneli kolejowych, dla oceny wymaganej przestrzeni dla większych wagonów (USA).



Fot. 7. Pomiar naziemnym skanerem linii kolejowej w tunelu [16]

Wiele projektów inżynierskich wymaga dokładnej oceny przestrzennej 3D w istniejących warunkach infrastrukturalnych (przykładowy skan - rys. 7). Używanie dokładnych informacji powykonawczych często jest podstawą do późniejszego zarządzania budowlą, oszczędzając wiele tygodni lub miesięcy na projekty „naprawcze”.





Rys. 7. Skan przejazdu kolejowego wykonany skanerem laserowym VMX-250 REIGL – USA {16}

Skaner laserowy może być także wykorzystany w wersji mobilnej, a wówczas zestaw skanerów umieszczony jest na samochodzie. Jest to tzw. system mobilnego mapowania i skanowania MMS/MLS [17]. System MMS/MLS wyposażony jest w Skaner „2D” (profiler) Riegl VQ 250, 2 skanery „3D” Riegl VZ 400, 6 cyfrowych kamer wideo, wielokanałowy GeoRadar firmy IDS, system pozycjonowania GPS/IMU POS LW 420 V4 firmy Applanix oraz zespół komputerów pokładowych do sterowania i rejestracji danych. Jest to metoda dynamiczna, mająca wysokie tempo pomiaru, pomiar jest w trybie 3D, zasięg do 300 m, wysoką częstotliwość pomiaru, pełną synchronizację pomiaru z GPS/IMU. Dla pomiarów możliwe jest zastosowanie lokomotywy bądź drezyny jako platformy, a gęstości linii skanowania zależne są od prędkości (rys. 8).



Rys. 8. Wynik mobilnego skanowania systemem MLS {18}

Duże znaczenie w naziemnym skanowaniu laserowym ma możliwość tworzenia *modeli różnicowych*. Metodyka pomiarów deformacji powierzchni terenu skanerem laserowym polega na nałożeniu na siebie dwóch skanów i obliczeniu modelu różnicowego. Pierwsze próby zastosowania tej technologii na osuwisku na klifie w Jastrzębiej Górze wykonywał Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Ba-

dawczy z bardzo dobrym rezultatem. Badania przeprowadzone skanerem laserowym wykazały maksymalne przesunięcia rzędu 0,5 m; gdzie maksymalne przesunięcie czoła osuwiska wyniosło 8 m, a jego wysokość dochodziła do 2 m [19].

W literaturze światowej zastosowanie naziemnego skanera laserowego do monitorowania deformacji jest szeroko opisywane zarówno przy monitorowaniu typowych skarp i zboczy oraz do zboczy zagrożonych kombinacją ruchów masowych np. zsuwu i obrywów skalnych. Skanowanie laserowe jest możliwe również w miejscach trudno dostępnych lub nawet niedostępnych bezpośrednio. W artykule [5] pokazano możliwości zastosowania skaningu laserowego do monitoringu aktywnego osuwiska Séchilienne we francuskich Alpach.

W Katedrze Infrastruktury Kolejowej i Lotniczej Politechniki Krakowskiej przeprowadzono badania oraz wykonano modele różnicowe na bazie skanowania laserowego osuwiska w Sadowiu na linii kolejowej nr 8 Kraków - Warszawa. Wyniki badań zostały przedstawione w artykule [11]. Zdiagnozowano zmiany powierzchniowe na osuwisku, co pozwoliło stwierdzić (mając na uwadze dane archiwalne dotyczące aktywności osuwiska oraz wagę zagrożenia, jakie może stanowić dla linii kolejowej nr 8), iż należy prowadzić okresowy monitoring pozwalający na szybkie wychwycenie wszelkich postępujących zmian. Do tego celu najwłaściwsza wydaje się być metoda naziemnego skaningu laserowego, która w sposób nieinwazyjny, niewymagający wstrzymania ruchu kolejowego, pozwoli na wychwycenie z dużą dokładnością zmian zachodzących w zboczach przekopu. W ramach dalszych prac badawczych w dniu 3 listopada 2013 roku wykonano pomiary skanerem laserowym strefy przejściowej w pobliżu osuwiska w Sadowiu na wiadukcie kolejowym. Przykładowy skan pokazano na rys. 9. Jest to pomiar tzw. Zerowy, natomiast na wiosnę 2014 roku będzie wykonany model różnicowy dla tych samych stref, celem sprawdzenia wpływu osuwiska na wiadukt.



Rys. 9. Skan strefy przejściowej wykonany 4 listopada 2013 roku

### 3. Podsumowanie

Porównując zalety i ograniczenia każdego z poziomów teledetekcyjnych, czyli: metody satelitarnej, lotniczej i naziemnej, należy mieć na uwadze obiekt, jego rozmiary oraz cel monitoringu. Metodyka badań w zależności od danego obiektu musi uwzględnić podstawowe parametry metod teledetekcyjnych takie jak: rozdzielczość przestrzenną, spektralną, czasową oraz radiometryczną. Z punktu widzenia skanowania infrastruktury kolejowej najbardziej interesujące są dwa parametry: rozdzielczość przestrzenna, a w szczególności rozdzielczości pionowa i rozdzielczość czasowa.

Zalety teledetekcji satelitarnej to duża dokładność w pomiarze względnych deformacji terenu oraz niezależność pomiarów od warunków atmosferycznych. W przypadku metody PSInSAR można osiągnąć dokładności rejestrowania deformacji rzędu kilku/kilkudziesięciu mm/rok. Metoda PSInSAR daje nam obraz punktowy przemieszczeń w tzw. punktach PS. Rozdzielczość czasowa w przypadku teledetekcji satelitarnej zależy od rodzaju satelity, z którego będziemy pozyskiwać dane do analizy. Aktualnie cykl pomiarowy ulega zmniejszeniu, na przykład dla satelity TerraSAR-X wynosi 11 dni (interwał obrazowania przy jednakowych parametrach), ale możliwe jest także zaplanowanie rewizyty tego samego miejsca dla interwału 2,5 dnia. Obecnie dla satelitów obserwuje się tendencję rozwoju technologii w kierunku zwiększania rozdzielczości przestrzennej i czasowej.

W przypadku teledetekcji lotniczej używającej skanerów laserowych w bliskiej podczerwieni rozdzielczość przestrzenna piksela ma ok. 15-20 cm, natomiast pionowa rozdzielczość ma dokładność ok. 15 cm.

Natomiast naziemny skaner laserowy jest najdokładniejszym przyrządem o rozdzielczości przestrzennej rzędu kilku milimetrów. Konstruując model różnicowy można się spodziewać wykrycia deformacji na poziomie kilku milimetrów. Z przedstawionej w artykule analizy wynika, że teledetekcja naziemna w porównaniu z teledetekcją satelitarną i lotniczą posiada wiele dodatkowych właściwości.

Należy dążyć do tworzenia programów (o charakterze ogólnopolskim czy wojewódzkim) wykorzystujących teledetekcję satelitarną - dla monitoringu większych terenów. Lotniczy skanowanie laserowe LIDAR, mimo iż jest kosztowny, to w pewnych sytuacjach może okazać się bardzo przydatny.

Z kolei teledetekcja naziemna ma dużą rozdzielczość przestrzenną i nie ma ograniczenia czasowego. Rejestrowana *chmura punktów* stanowi pewnego rodzaju dokumentację przestrzenną, do której możemy w każdej chwili wrócić, aby wykonać dodatkowe pomiary, analizy lub odtworzyć stan z dnia wykonania skanu.

Każda z przedstawionych metod teledetekcji: satelitarna, lotnicza czy naziemna w wersji mobilnej i stacjonarnej nadaje się do wykorzystania w inwentaryzacji i monitorowaniu infrastruktury kolejowej zmniejszając ryzyko awarii i zapewniając bezpieczną eksploatację. Docelowo wskazane byłoby kompleksowe stosowanie kilku metod teledetekcji, ale ograniczeniami są koszty.

## Literatura

- [1] Ciołkosz A., 2005, Teledetekcja satelitarna źródłem informacji o obiektach, zjawiskach i procesach zachodzących na Ziemi. *Nauka* 4/2005, 51-70.
- [2] Borowiecki I., Ślusarski M., 2010, Lotniczy Skanowanie Laserowe LIDAR Miasta Krakowa (ocena dokładnościowa) *Infrastruktura I Ekologia Terenów Wiejskich*, Nr 3/2010, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 127-137.
- [3] Graniczny M., Kowalski Z., Jureczka J., Czarnogórska M., 2006, Wykorzystanie technologii PSinSAR dla obserwacji przemieszczeń powierzchni terenu na przykładzie Górnego Śląska. *Mat. Symp. Warsztaty górnicze: Zagrożenia w Górnictwie. Sesja Okolicznościowa*, Tomaszewice, 2-14 czerwca, Wyd. IGSMiE. Kraków.
- [4] Graniczny M., Kamiński M., Piątkowska A., Suruła M., 2012, Wykorzystanie lotniczego skaningu laserowego do inwentaryzacji i monitoringu osuwiska w rejonie Łańcicy (Gmina Lancokorona)., *Przegląd Geologiczny*, vol. 60., nr 2, 64 – 89.
- [5] Kasperski J., Delacourt C., Allemand P., Potherat P., Jaud M. and Varrel E. 2010, Application of a Terrestrial Laser Scanner (TLS) to the Study of the Séchilienne Landslide (Isère, France) *Remote Sens.* 2010, 2(12), 2785-2802.
- [6] Kleczkowski A., 1955, Osuwiska i zjawiska pokrewne, Wyd. Geologiczne Warszawa.
- [7] Lisowski S., Ajszpur B., Dudek P. 2007, Geodezyjne pomiary skrajni budowli metodą skaningu laserowego na przykładzie stacji kolejowej, *Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania w Kolejnictwie, Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP (zeszyt 154, 2010r)*, str. 395-409 *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 17b, p.525-534.
- [8] Perski Z., Wojciechowski T., Wójcik A., 2012, Techniki naziemne, lotnicze i satelitarne w rozpoznawaniu osuwisk. *Symposium Ogólnokrajowe „Hydrotechnika XIV 2012” prezentacja* <http://prezi.com/jwpo1cmo498a/techniki-naziemne-lotnicze-i-satelitarne-w-rozpoznawaniu-osuwisk/>.
- [9] Piątkowska A., Graniczny M., 2006, Możliwości wykorzystania metod teledetekcyjnych dla identyfikacji mobilności mas solnych i związanych z nimi przemieszczeń powierzchni terenu. *Mat. Symp. Warsztaty Górnicze*, Wyd. IGSMiE. Kraków, 327-330.
- [10] Pigorini A., Ricci M., Giannico C., Tamburini A., Satellite remote-sensing PSInSARTM technique applied to design and construction of railway infrastructures, *INGEGNERIA FERROVIARIA* p.729 –757 9/2010 OB-SERVATORIO.
- [11] Pilecka E., Bazarnik M., Pawlak – Burakowska A., 2013, Wyniki monitorowania skuteczności zabezpieczenia osuwiska na przykładzie osuwiska

- w Sadowiu na linii kolejowej nr 8 Warszawa – Kraków. Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK Oddział Kraków nr 2 9101/2013, p. 237-251.
- [12] Pyka K., Borowiec N., Poręba M., Słota M., Kundzierewicz T., 2012, Wykorzystanie lotniczego skaningu laserowego do pomiaru torów kolejowych, PAK 2012 nr 03, s. 260-263.
- [13] (<http://treuropa.com/transportation/roads-and-railways/>).
- [14] [<http://lidarindonesia.co.id/index/>].
- [15] (<http://www.mggpaero.com/skaning-laserowy.html>).
- [16] [http://www.cenews.com/print-magazinearticle-working\\_in\\_a\\_3d\\_world-8465.html](http://www.cenews.com/print-magazinearticle-working_in_a_3d_world-8465.html).
- [17] [http://www.geodezja.szczecin.org.pl/stara\\_strona/Konferencje/Konf2009/zalaczniki/2009\\_11.pdf](http://www.geodezja.szczecin.org.pl/stara_strona/Konferencje/Konf2009/zalaczniki/2009_11.pdf).
- [18] <http://www.gispro.pl/content/kolej>.
- [19] [http://www.pgi.gov.pl/pl/dokumenty-in/doc\\_view/549-kramarskafrydel](http://www.pgi.gov.pl/pl/dokumenty-in/doc_view/549-kramarskafrydel).