

MONITORING POWIERZCHNIOWY OSUWISKA

Powiat krakowski

WYKONANY METODĄ
INTERFEROMETRII RADAROWEJ



RAPORT

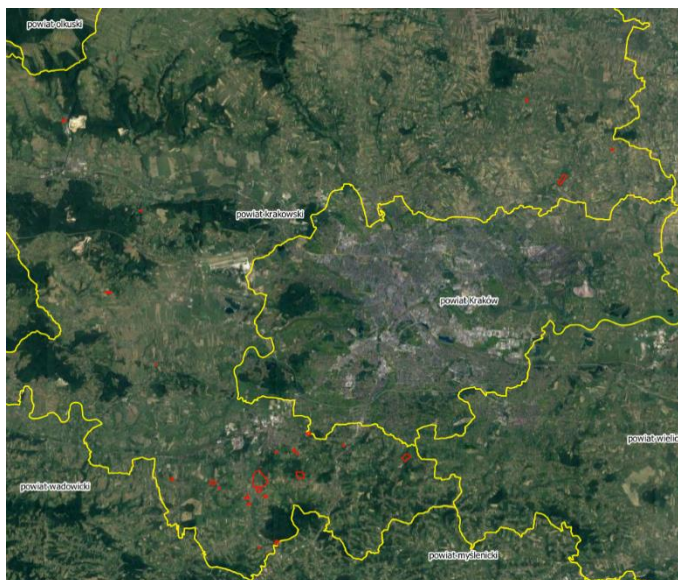
Kraków, 25.01.2022

Zlecniodawca:
Starostwo Powiatowe
w Krakowie

1

OBSZAR BADAŃ

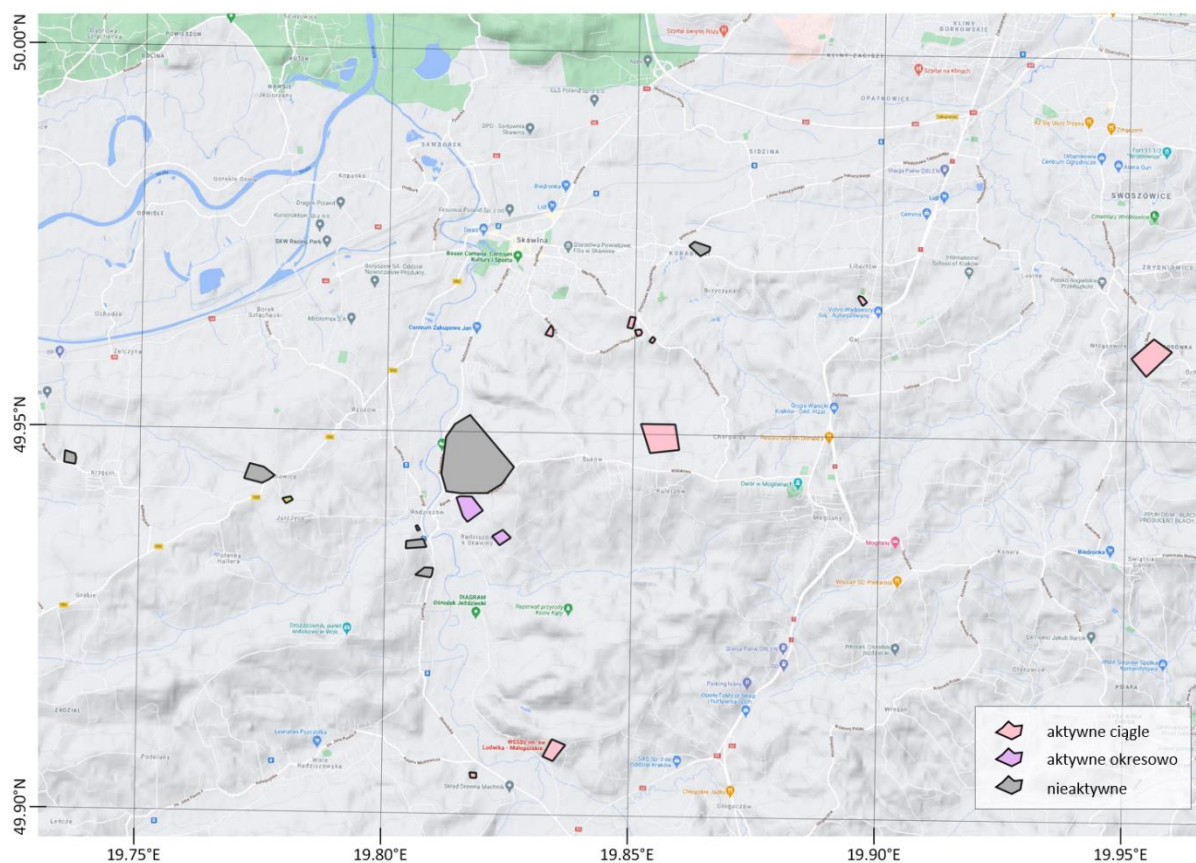
Powiat krakowski znajduje się w województwie małopolskim. Obszar badań obejmował **26 osuwisk** o łącznej powierzchni **ok. 2 km²**. Rzędne terenu objętego ruchami masowymi w najniższym jego punkcie wynoszą 225 m n.p.m.. (Skawina), zaś najwyższej położony punkt badanego obszaru wznosi się na wysokość około 400 m n.p.m. we wsi Mogilany. Zasięg współrzędnych geograficznych analizowanego obszaru to: 49°54'17"N - 50°11'58"N oraz 19°37'33"E - 20°08'47"E. Monitorowane osuwiska zostały przedstawione na rysunku poglądowym obok.



Spośród 26 osuwisk, **17** zostało zidentyfikowanych w jako **aktywne ciągle**, **3** jako **aktywne okresowo**, a **6** jako **nieaktywne**. Zasięg osuwiska oraz podział na strefy aktywności przedstawiony na mapach w niniejszym raporcie pochodzi z Kart Osuwisk dla powiatu krakowskiego sporządzonych przez Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Wspomagano się również informacjami z bazy danych Systemu Osłony Przeciwosuwiskowej (SOPO) Państwowego Instytutu Geologicznego. Warto tutaj zaznaczyć, iż w Kartach Osuwisk aktywność była w niektórych przypadkach **zróżnicowana** (osuwiska nr: **13, 29, 31, 35, 38, 39 oraz 44**), to znaczy na jedno osuwisko przypadały dwie lub trzy klasy aktywności (np. aktywne ciągle, nieaktywne). Wynika to ze zróżnicowanej geometrii dla danego terenu. Jednak przy aktualizacji aktywności, konieczne było **ujednolicenie** aktywności w tych przypadkach. Wykonano to przy wykorzystaniu danych SOPO, a także obserwując lokalizacje punktów PS.

Badany obszar został poddany satelitarnemu monitoringowi powierzchniowemu dla okresu **7-letniego** (lata **2014-2021**). Analiza została wykonana na podstawie analizy 365 zobrażeń satelitarnych pochodzących z satelitów Sentinel-1, metodą interferometrii radarowej, techniką IPTA.

Poniższa mapa obrazuje 26 osuwisk wybranych do analizy.



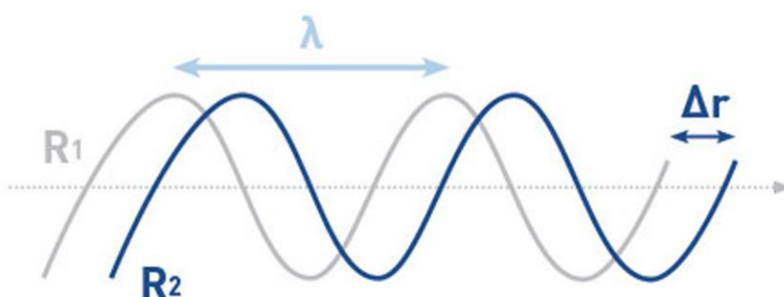
Rys. 1 Fragment obszaru badań z granicami osuwisk SOPO

2 METODYKA BADAŃ

Satelitarna interferometria radarowa InSAR (ang. Interferometric Synthetic Aperture Radar) jest metodą teledetekcyjną, której istotą jest obliczenie przesunięcia fazy ech radarowych, zarejestrowanych na dwóch niezależnych obrazach typu SAR, dla tego samego terenu i w danym interwale czasowym. Obrazowanie SAR jest systemem aktywnym, czyli posiadającym własne źródło promieniowania elektromagnetycznego. Dzięki temu możliwe jest rejestrowanie obrazów SAR zarówno w dzień, jak i w nocy, bez względu na warunki pogodowe. Danymi źródłowymi w tej technice są zobrażenia radarowe SAR o wysokiej rozdzielczości przestrzennej i czasowej, obejmujące swym zasięgiem obszar nawet setek kilometrów kwadratowych. Poruszający się po orbicie satelita posiada antenę nadawczo-odbiorczą, która rejestruje amplitudę i fazę powracającej fali radarowej. Faza jest określoną częścią cyklu fali sinusoidalnej, dającą informację o zmiennej odległości rejestrowanego punktu od anteny.

Znając wartości fazy fal dla dwóch zobrażeń, możliwe jest obliczenie ich różnicy

i na jej podstawie wyliczenie przesunięcia fazowego danego obiektu pomiędzy tymi zobrażeniami (Δr). Przesunięcie fazowe może zostać następnie przeliczone na wartość przemieszczeń terenu.



Rys. 2 Wizualizacja przesunięcia fazowego fali

Jedną z najbardziej powszechnych zastosowań technik InSAR jest satelitarna interferometria różnicowa DInSAR (ang. Differential InSAR). Wykorzystuje ona dwa obrazy SAR do obliczenia interferogramu, czyli obrazu przesunięć fazowych. Następnie, przy użyciu numerycznego modelu terenu, odejmowana jest składowa topograficzna i obliczony jest interferogram różnicowy, który przedstawia przemieszczenia powierzchni terenu, objętego obrazami SAR. Wadą pomiarów DInSAR jest brak informacji o lokalnych deformacjach pojedynczych obiektów infrastruktury.

Drugą metodą stosowaną w zleconym badaniu jest technika IPTA (ang. Interferometric Point Target Analysis), która wykorzystuje zestaw obrazów SAR, między którymi obliczana jest wartość przesunięcia fazy dla każdego piksela. W ten sposób powstają interferogramy różnicowe. Analiza IPTA wykonywana jest jedynie dla stabilnych punktów koherentnych, czyli takich, które charakteryzują się niezmiennością sposobu odbicia fal w czasie. Przede

wszystkim są to punkty na terenach zabudowanych (głównie na elementach budynków), a ich gęstość sięga kilku tysięcy punktów na każdy km². Metoda ta pozwala na obliczenie przemieszczeń dla pojedynczych obiektów, również, gdy jest to tylko lokalna deformacja. Analizy IPTA prowadzi się dla długich okresów czasowych, np. całego roku. Można wykorzystać kilkanaście, a nawet kilkadziesiąt obrazów SAR, zarejestrowanych cyklicznie co kilka, kilkanaście dni (w zależności od rodzaju satelity). W ten sposób możliwe jest określenie wartości przemieszczeń dla wybranego okresu oraz prędkości tych deformacji. Wynikiem analiz IPTA jest zbiór przestrzenny punktów pomiarowych, dla których obliczone zostały wartości prędkości przemieszczenia obiektów (zazwyczaj w jednostce mm/rok) wzdłuż linii padania sygnału radarowego LOS (ang. Line Of Sight).

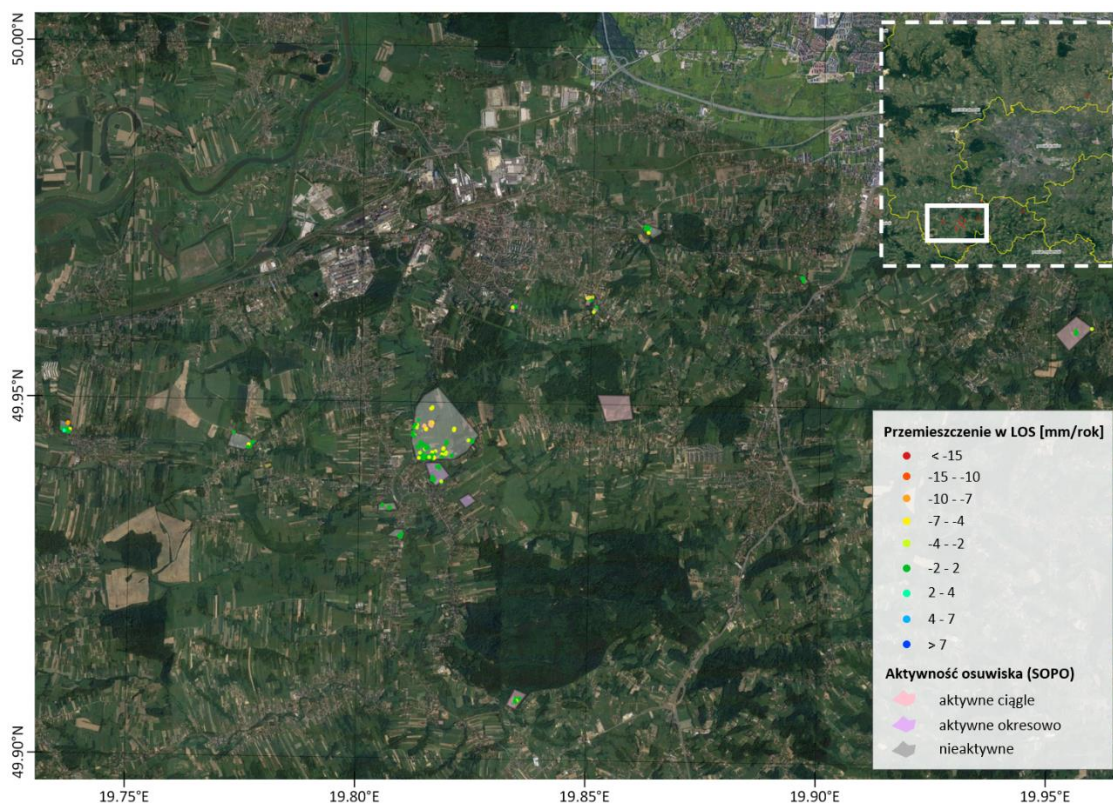
Głównym parametrem opisującym możliwość, dokładność i przede wszystkim gęstość stabilnych punktów pomiarowych PS dla analizy techniką IPTA jest wartość koherencji dla danego obszaru. Koherencja jest miarą spójności dwóch obrazów SAR. Na jej wartość wpływają przede wszystkim dwa czynniki: dekorelacja czasowa (związana głównie ze zmianą zagospodarowania lub wilgotności terenu między dwoma zobrazowaniami) oraz wpływ pokrycia terenu (analiza na obszarach leśnych, bagiennych oraz wodnych jest praktycznie niemożliwa, natomiast na terenach zabudowanych - najskuteczniejsza).

Techniki InSAR wykorzystywane są od wczesnych lat 90-tych XX wieku (Pratti C., et al., 1994; Hanssen R., 1999; Ferretti A., et al., 2007). Algorytmy obliczeń były i są udoskonalane przez wybitnych naukowców z całego świata. Początkiem XXI wieku powstały pierwsze analizy PS (Ferretti A., et al., 2000, 2001). Opublikowano również wiele artykułów naukowych, w których skupiono się na porównaniu techniki PS z naziemnymi metodami geodezyjnymi (Wei-Chia Hung, et al., 2011; Crosetto M. et al., 2009). Potwierdziły one milimetrową dokładność w skali roku dla technik wykorzystujących punkty PS. W niniejszym badaniu przyjęto dokładność wyznaczenia wartości przemieszczeń pionowych metodą IPTA za równą +/- 2 mm w skali roku.

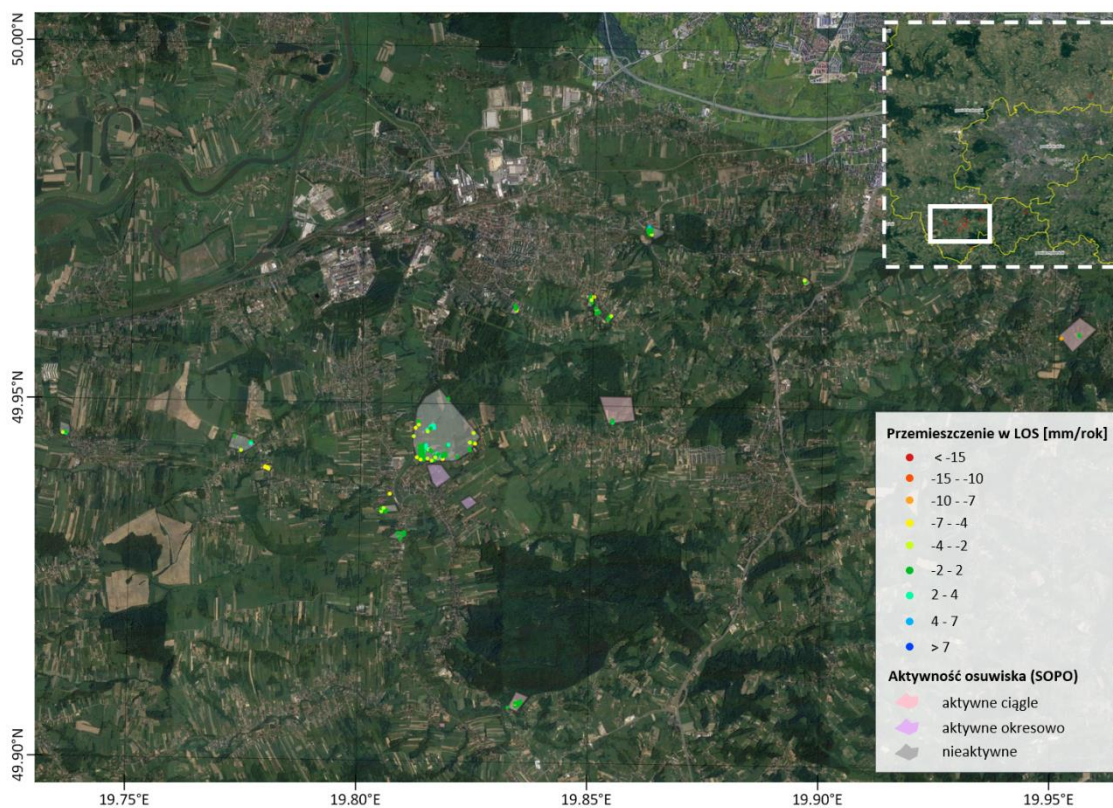
Zarówno wszystkie analizy obrazów SAR zostały przeprowadzone przez doświadczonych pracowników firmy SATIM, posiadających wyższe wykształcenie w dziedzinie geologii, geodezji, teledetekcji oraz informatyki.

3

MAPA PUNKTÓW POMIAROWYCH



Rys. 3 Fragment obszaru badań z pomiarowymi punktami PS (orbita ascending)



Rys. 4 Fragment obszaru badań z pomiarowymi punktami PS (orbita descending)

4

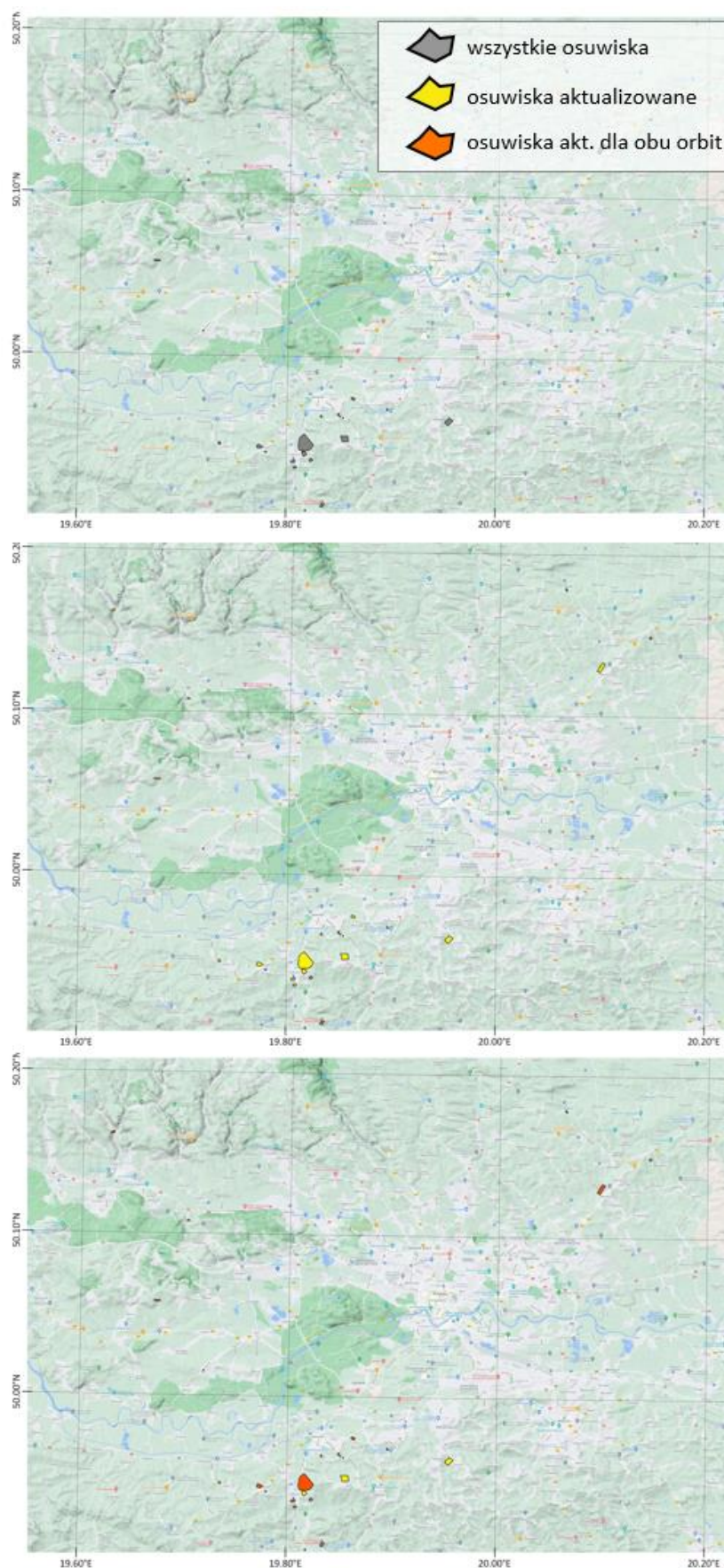
PODSUMOWANIE I WYNIKI

Poprzez przeprowadzone badanie dla wszystkich **26 analizowanych osuwisk** pomierzono **346 punkty PS** dla jednej orbity i **380 punktów** dla drugiej orbity. Spośród 26 osuwisk konieczne było wyselekcjonowanie osuwisk, spełniających warunki odpowiedniej geometrii, aby analiza była w pełni funkcjonalna. Warunki te zostały spełnione dla **17 obszarów osuwiskowych (65 % całości)**. Z kolei dla **8 osuwisk (35 %)** monitoring został prawidłowo wykonany dla obu orbit.

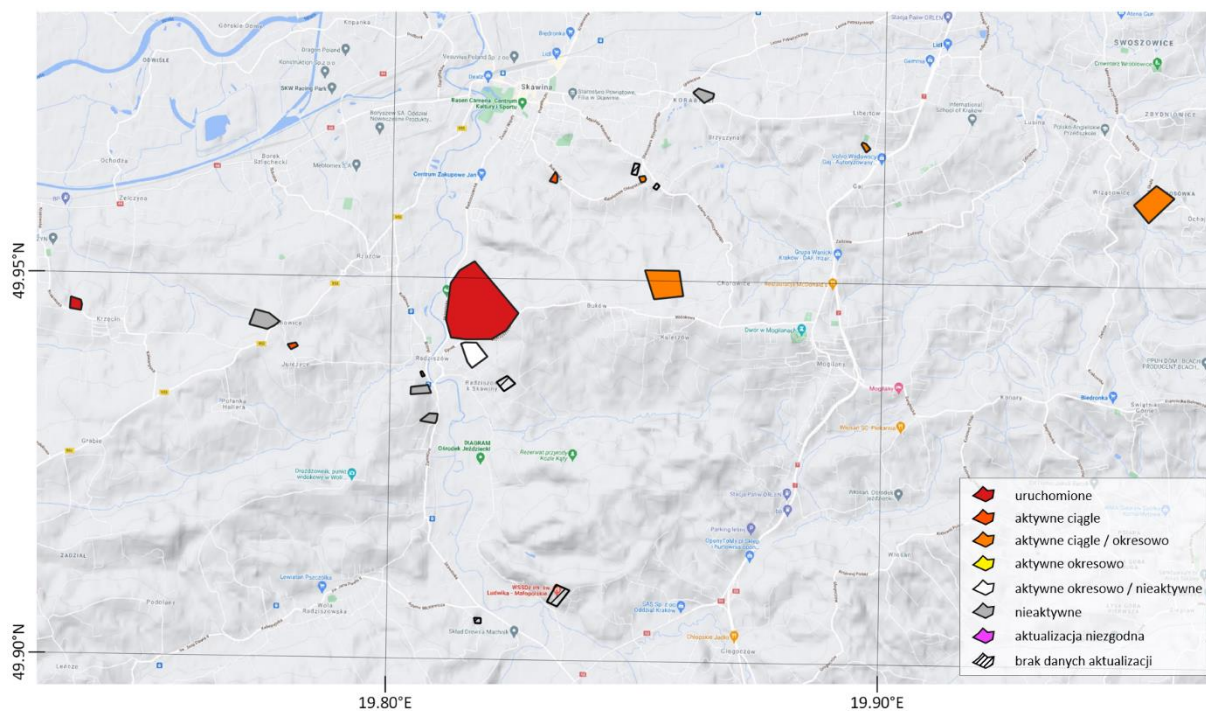
Tab. 1. Liczba osuwisk w analizie

Liczba osuwisk	
Wszystkie osuwiska	26
Osuwiska aktualizowane (dla co najmniej 1 orbity)	17 (65 %)
Osuwiska aktualizowane dla obu orbit	8 (35 %)

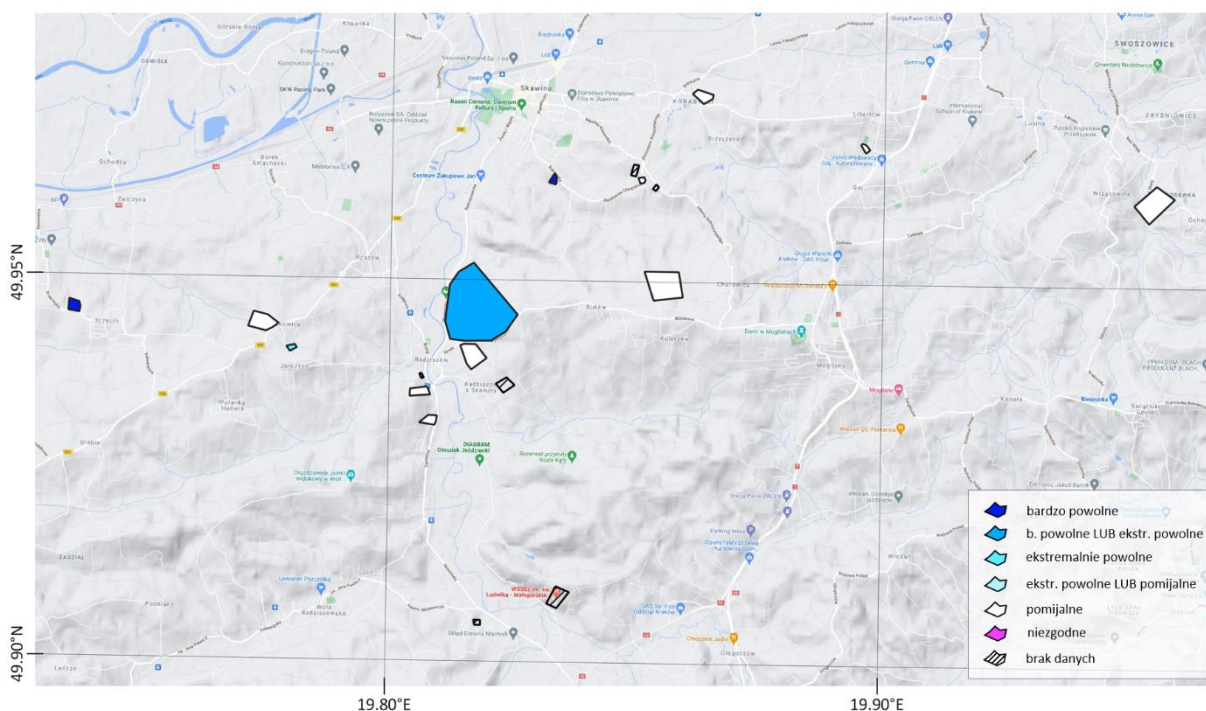
Dla wybranych osuwisk przeprowadzono aktualizację ich aktywności oraz intensywności ruchów (Rys. 5).



Rys. 5 Mapa selekcji osuwisk



Rys. 6 Mapa zaktualizowanej aktywności osuwisk (fragment)



Rys. 7 Mapa intensywności ruchów osuwisk (fragment)

Szczegółowe informacje dla mierzonych punktów PS dla każdego z osuwisk są widoczne w rozszerzonym raporcie dla poszczególnych osuwisk.