

MONITORING POWIERZCHNIOWY OSUWISK ZBIORCZY

dla powiatu gorlickiego

WYKONANY METODĄ
INTERFEROMETRII RADAROWEJ



RAPORT

Kraków, 03.08.2022

Zlecniodawca:
Starostwo Powiatowe
w Gorlicach

1

OBSZAR BADAŃ

Powiat gorlicki znajduje się w województwie podkarpackim. Obszar badań obejmował **10 osuwisk** o łącznej powierzchni **ok. 0,7 km²**. Rzędne terenu objętego ruchami masowymi w najniższym jego punkcie wynoszą 260 m n.p.m. (miasto Biecz), zaś najwyższy położony punkt badanego obszaru wznosi się na wysokość około 470 m n.p.m. we wsi Szymbark. Zasięg współrzędnych geograficznych analizowanego obszaru to: 49°36'40"N - 49°43'10"N oraz 21°03'10"E - 21°17'40"E. Monitorowane osuwiska zostały przedstawione na rysunku poglądowym obok.



Spośród 10 osuwisk, **7** zostało zidentyfikowanych w ramach projektu SOPO jako **aktywne ciągle**, a **3** jako **aktywne okresowo**. Zasięg osuwisk oraz podział na strefy aktywności przedstawiony na mapach w niniejszym raporcie pochodzi z bazy danych Sytemu Osłony Przeciwośuwiskowej (SOPO) Państwowego Instytutu Geologicznego.

Obszar ten został poddany satelitarnemu monitoringowi powierzchniowemu dla okresu **5-letniego** (lata **2017-2022**). Analiza została wykonana na podstawie analizy 290 obrazowań satelitarnych pochodzących z satelitów Sentinel-1, metodą interferometrii radarowej, techniką IPTA.

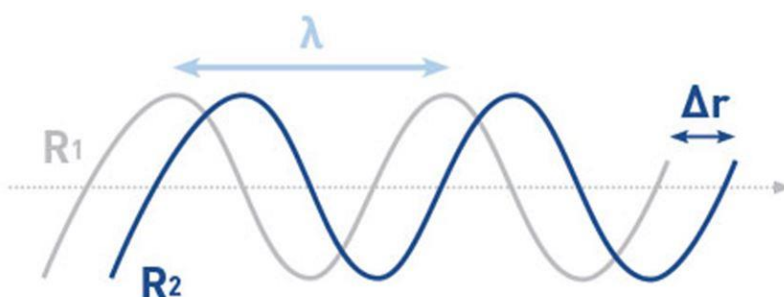
Raport ten przedstawia szczegółową analizę zbiorczą dla wszystkich monitorowanych osuwisk.

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. 1 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).

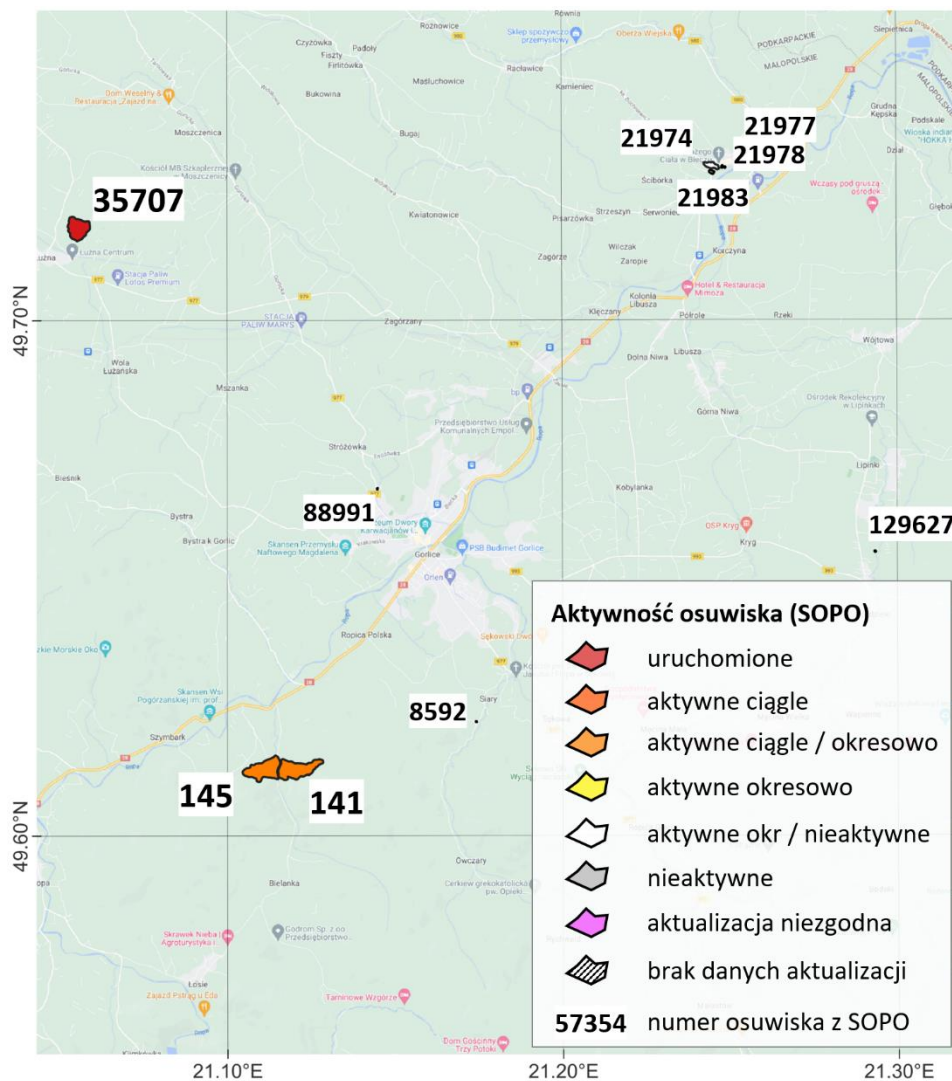
Techniki InSAR wykorzystywane są od wczesnych lat 90-tych XX wieku (Pratti C., et al., 1994; Hanssen R., 1999; Ferretti A., et al., 2007). Algorytmy obliczeń były i są udoskonalane przez wybitnych naukowców z całego świata. Początkiem XXI wieku powstały pierwsze analizy PS (Ferretti A., et al., 2000, 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.

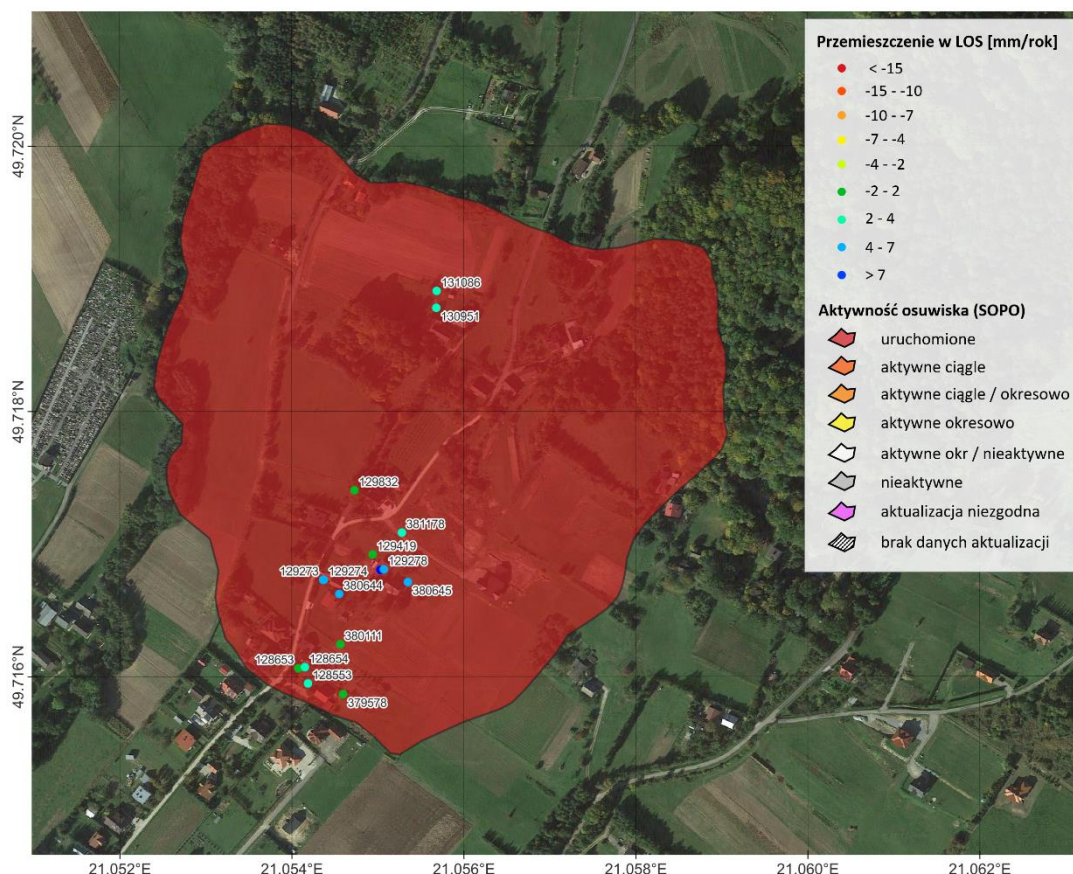
3

MAPY PUNKTÓW POMIAROWYCH

Przedstawiona mapa (Rys. 2) przedstawia lokalizację monitorowanych osuwisk wraz z ich numerami zgodnymi z bazą SOPO. Poniżej zostały zobrazowane poszczególne osuwiska wraz z punktami pomiarowymi oraz wykresami przemieszczeń w LOS dla niektórych punktów.



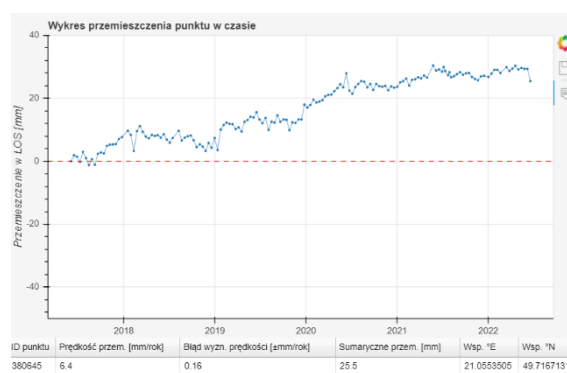
Rys. 2 Mapa monitorowanych osuwisk wraz z ich numeracją zgodną z SOPO



Rys. 3 Mapa osuwiska nr 35707 z punktami PS dla orbity ascending



129277



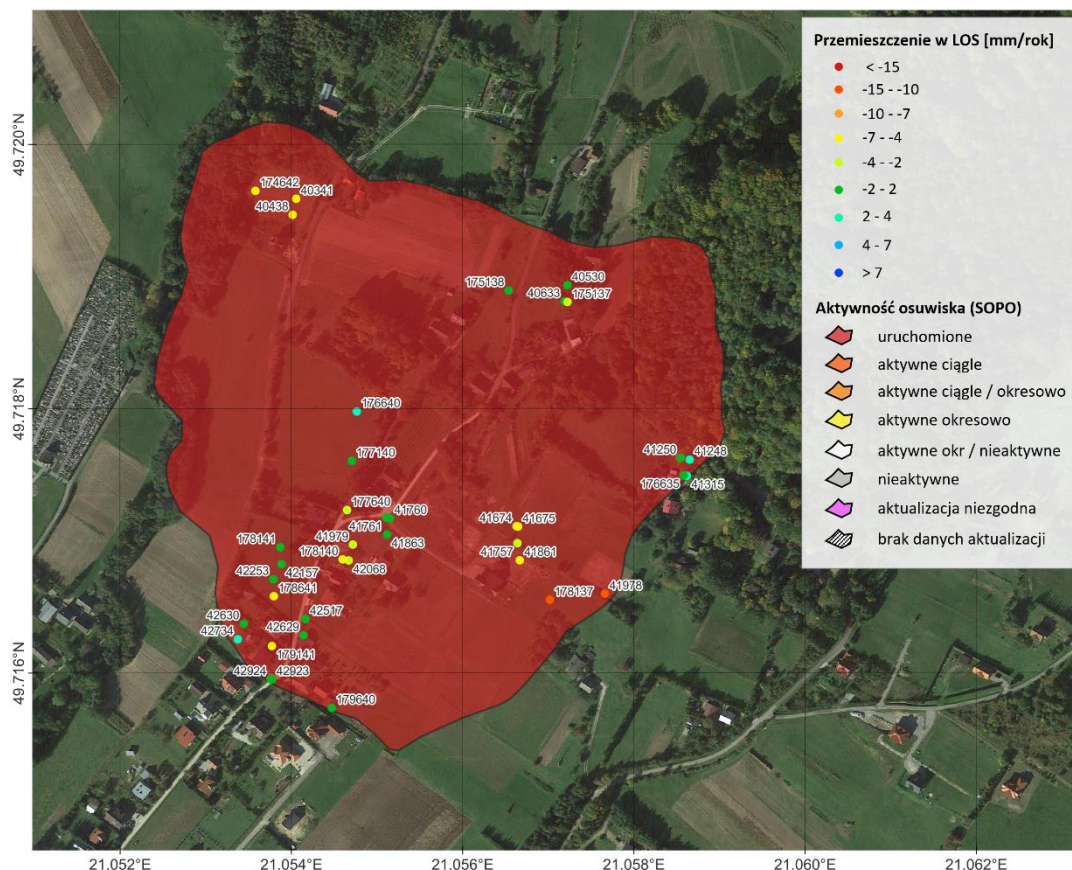
380645



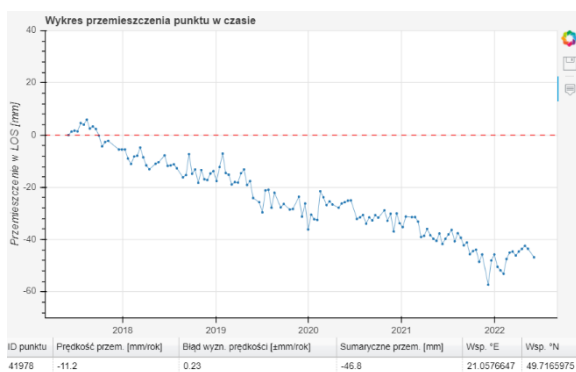
129274



131086



Rys. 4 Mapa osuwiska nr 35707 z punktami PS dla orbity descending



41978



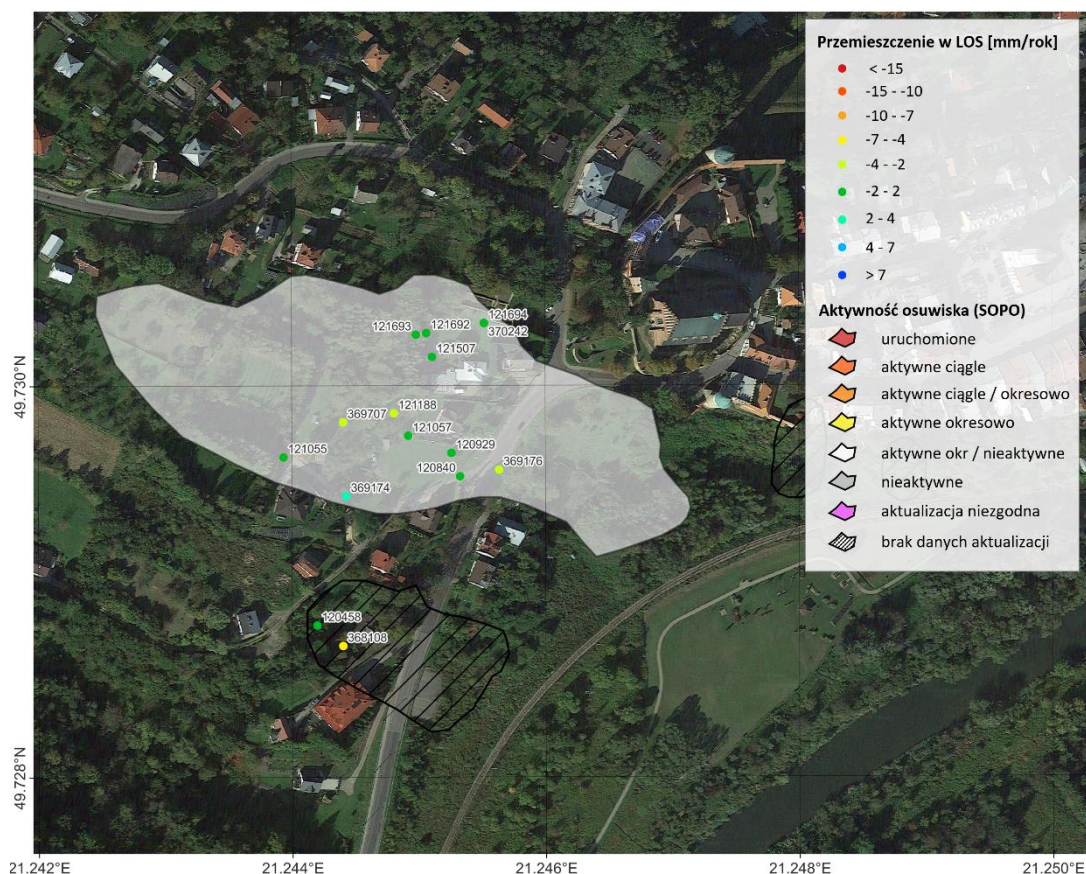
178137



41675



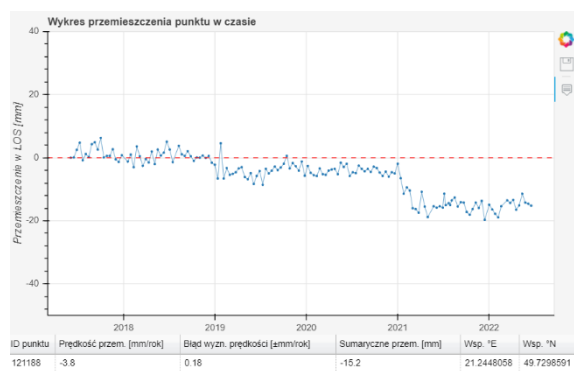
40341



Rys. 5 Mapa osuwiska nr 21974 z punktami PS dla orbity ascending



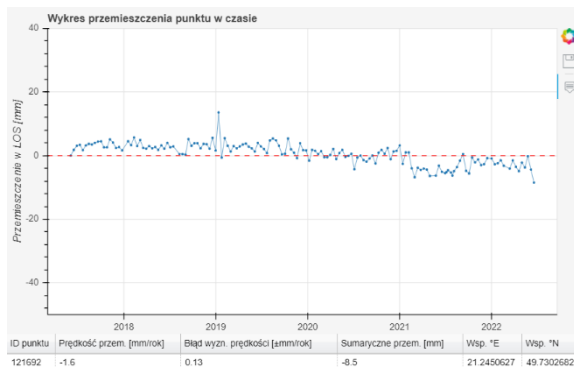
369707



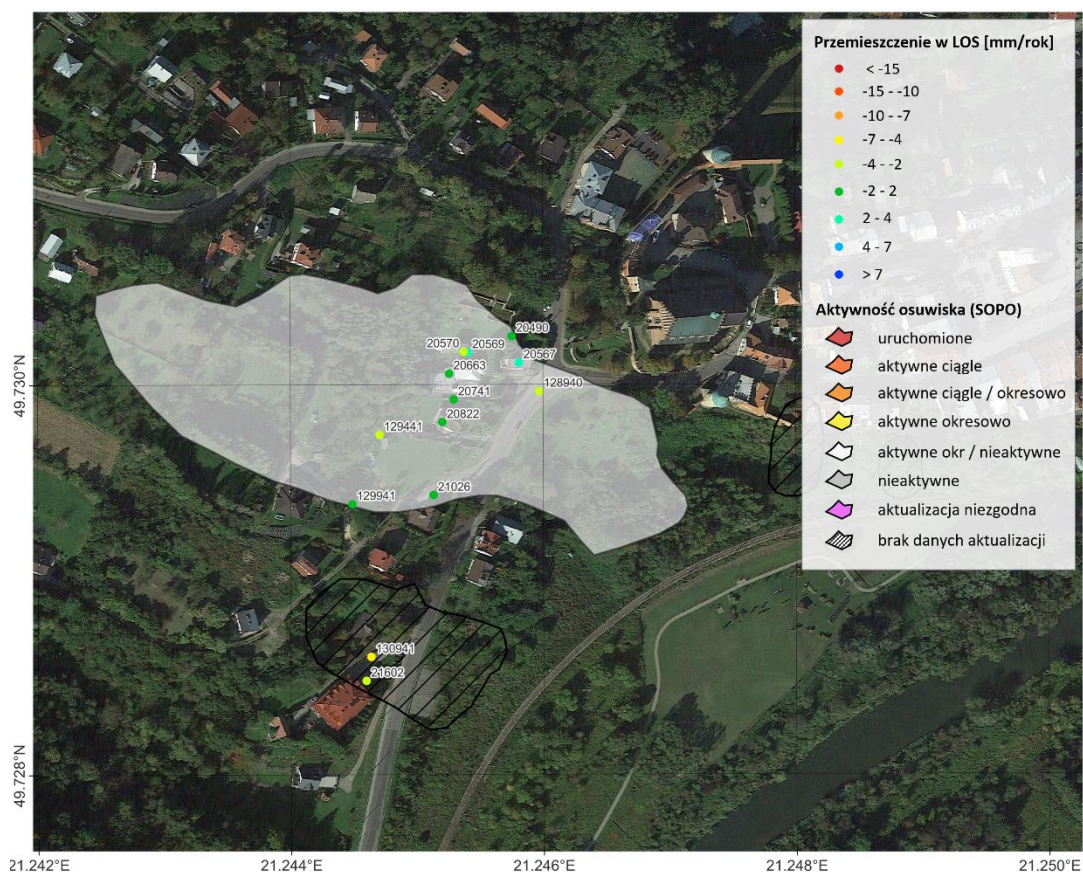
121188



369176



121692



Rys. 6 Mapa osuwiska nr 21974 z punktami PS dla orbity descending



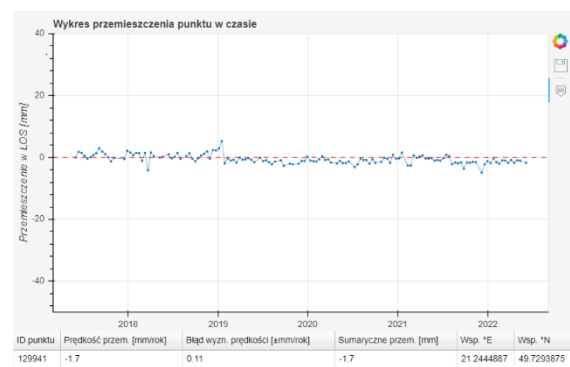
20567



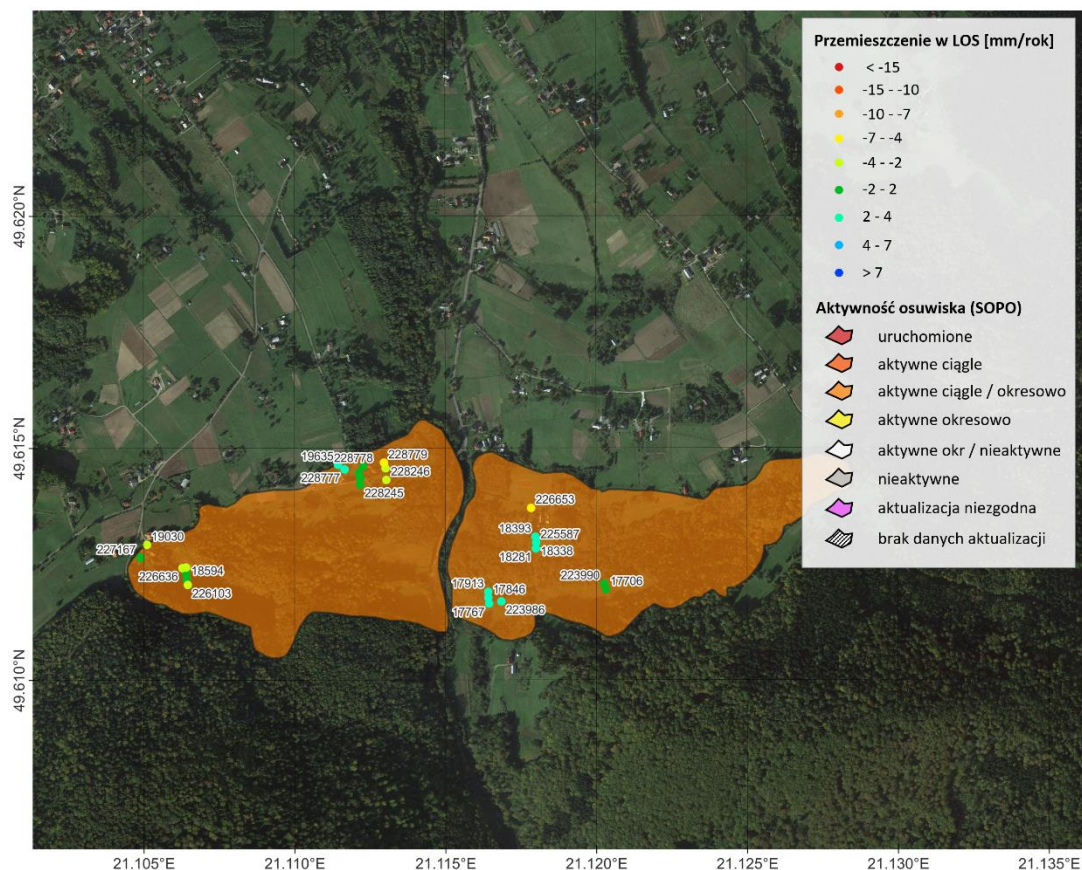
128940



129441



129941



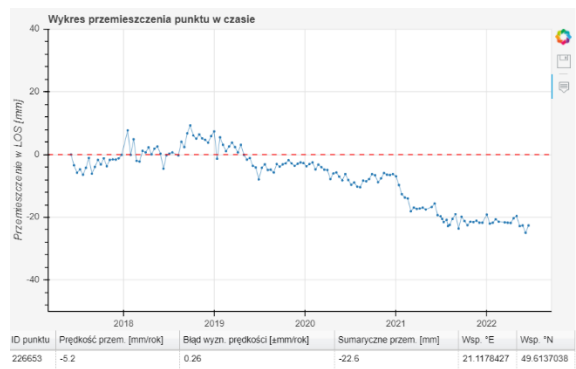
Rys. 7 Mapa osuwisk nr (od lewej) 145 oraz 141 z punktami PS dla orbity ascending



228779



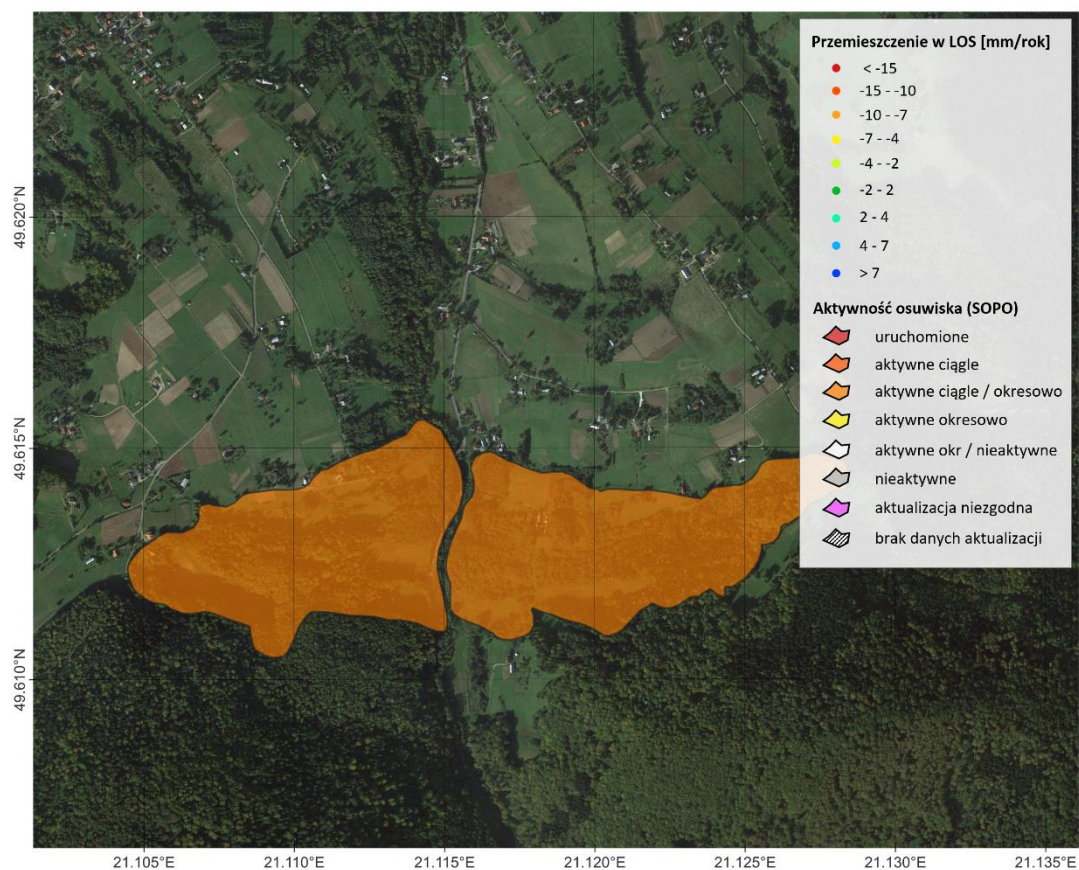
228246



226653



17913



Rys. 8 Mapa osuwiska nr (od lewej) 145 oraz 141 z punktami PS dla orbity descending

Brak punktów PS dla orbity descending na obszarze osuwisk 141 oraz 145.

6

PODSUMOWANIE I OCENA WYNIKÓW

Poprzez przeprowadzone badanie dla wszystkich **10 analizowanych osuwisk** pomierzono **51 punktów PS** dla jednej orbity i **59 punktów** dla drugiej orbity.

Spośród 10 osuwisk konieczne było wyselekcjonowanie osuwisk, spełniających warunki odpowiedniej geometrii, aby analiza była w pełni funkcjonalna. Warunki te zostały spełnione dla **4 obszarów osuwiskowych (40 % całości)**. Z kolei dla **2 osuwisk (20 %)** monitoring został prawidłowo wykonany dla obu orbit - dla obu aktualizacja data ten sam wynik (czyli tę samą klasę aktywności).

Spis osuwisk i jego aktywności wraz z szacunkowymi prędkościami przemieszczeń został przedstawiony w tabeli poniżej.

Tab. 1. Spis aktywności monitorowanych osuwisk

Numer osuwiska	Prędkość LOS (orbita asc.) [mm/rok]	Prędkość LOS (orbita desc.) [mm/rok]	Szacowana prędkość osuwiska [mm/rok]	Aktywność SOPO	Aktywność zaktualizowana	Intensywność ruchu (od stopnia 0 do stopnia 4)
35707	6,43	-9,25	11,76	aktywne okresowo	uruchomione	3 stopień
21974	-3,15	-2,37	4,74	aktywne okresowo	aktywne okresowo / nieaktywne	0 stopień
141	3,22	-	5,44	aktywne ciągle	aktywne ciągle / okresowo	0 stopień
145	-3,43	-	4,00	aktywne ciągle	aktywne ciągle / okresowo	0 stopień
88991	-	-	-	aktywne ciągle	-	-
8592	-	-	-	aktywne ciągle	-	-
129627	-	-	-	aktywne ciągle	-	-
21983	-	-	-	aktywne okresowo	-	-
21977	-	-	-	aktywne ciągle	-	-
21978	-	-	-	aktywne ciągle	-	-

Spośród **4 osuwisk**, dla których przeprowadzono skuteczny monitoring,:

- dla **osuwiska nr 35707** wykryto największe wartości przemieszczeń i sklasyfikowano je jako **osuwisko uruchomione** (dotychczas zgodnie z SOPO było aktywne okresowo),
- dla **osuwiska nr 21974** wartości ruchów dla obliczonych punktów PS były znikome, zatem sklasyfikowano je jako **aktywne okresowo / nieaktywne** (dotychczas aktywne okresowo),
- dla dotychczas, zgodnie z SOPO, aktywnych ciągle **osuwisk 141 oraz 145**, również wykryto znikome wartości przemieszczeń terenu, zatem sklasyfikowano je jako **aktywne ciągle / okresowo**.

W kwestii intensywności (od min. **stopnia 0** do max. **stopnia 4**) ruchów osuwiskowych, spośród monitorowanych 4 osuwisk:

- dla **osuwiska nr 35707** wykryto największe wartości przemieszczeń i sklasyfikowano intensywność tych ruchów jako ruchy **3-stopnia**,
- dla pozostałych osuwisk, tj. nr 21974, 141 oraz 145 wartości ruchów były pomijalne, sklasyfikowano zatem ich intensywność jako ruchy **0-stopnia**.

Szczegółowe prędkości przemieszczeń dla każdego punktu pomiarowego analizowanego na każdym zobrazowaniu satelitarnym można zobaczyć w załączonym pliku XLSX oraz pliku SHP. W plikach .html można również zobaczyć obliczone punkty PS na interaktywnej mapie wraz z wykresami przemieszczeń dla każdego punktu, po kliknięciu na dany punkt.