

 **ARTYKUŁY INFORMACYJNE**

Zagrożenia geologiczne w Polsce w 2022 r.

**Tomasz Wojciechowski¹, Izabela Laskowicz², Jarosław Kos¹,
Paweł Marciniak¹, Grzegorz Uścińowicz³, Kamila Karkowska⁴, Maria Przyłucka⁴,
Marcin Wódka¹, Sylwester Kamieniarz¹**



T. Wojciechowski



I. Laskowicz



J. Kos



P. Marciniak



G. Uścińowicz



K. Karkowska



M. Przyłucka



M. Wódka



S. Kamieniarz

Geohazards in Poland in 2022. Prz. Geol., 72: 439–450; doi: 10.7306/2024.25

Abstract. The article details the identification and monitoring of various geological processes and geohazards in Poland, as conducted by the Polish Geological Survey in 2022. In 2022, landslide activity in Poland was lower than average due to less than typical precipitation levels, with the year recording only 534.4 mm of rainfall, about 87.4% of the norm. Due to this overall dryness, the notable landslides, with 14 incidents reported, were significantly fewer than in previous years. Furthermore, the PGI-NRI seismological network (PSG_Sejs_NET), recorded 305 events, mainly induced by mining activities. The strongest event of the year was an M4.7 earthquake with an epicentre in the LGOM region, recorded on April 7, illustrating the improvement in locating such phenomena thanks to new seismic stations. In 2022, residents of western Małopolska, especially in Trzebinia and the surrounding area, experienced an intensification of the problem of post-mining sinkholes, mainly related to the rising groundwater level after the liquidation of mines such as “Siersza” and “Olkusz-Pomorzany”. The most serious incidents included: sinkholes in the cemetery in Trzebinia and in the town of Hutki. In 2022, there was a notable increase in the use of new technologies for recording and monitoring geohazards, including InSAR, drones or high-resolution digital terrain models. These advancements significantly enhanced the precision and scope of geohazard assessment and monitoring. One of the examples is the open European Ground Monitoring Service (EGMS) implemented by European Environment Agency, which helped identification of significant deformations in Poland with a total area of 4.4 thousand km², mainly related to mining exploitation. In addition, an excellent example of the comprehensive use of various data sources was presented during the stage, completed in 2022, of the project “4D Cartography in the coastal zone of the southern Baltic Sea”, which allowed for the accurate identification of geohazards on the section of the coast from Ustka to Dąbki, showing numerous threats, such as landslides, flooding and coastal erosion. The article discusses in detail this occurrence of various geological threats in 2022.

ification of the problem of post-mining sinkholes, mainly related to the rising groundwater level after the liquidation of mines such as “Siersza” and “Olkusz-Pomorzany”. The most serious incidents included: sinkholes in the cemetery in Trzebinia and in the town of Hutki. In 2022, there was a notable increase in the use of new technologies for recording and monitoring geohazards, including InSAR, drones or high-resolution digital terrain models. These advancements significantly enhanced the precision and scope of geohazard assessment and monitoring. One of the examples is the open European Ground Monitoring Service (EGMS) implemented by European Environment Agency, which helped identification of significant deformations in Poland with a total area of 4.4 thousand km², mainly related to mining exploitation. In addition, an excellent example of the comprehensive use of various data sources was presented during the stage, completed in 2022, of the project “4D Cartography in the coastal zone of the southern Baltic Sea”, which allowed for the accurate identification of geohazards on the section of the coast from Ustka to Dąbki, showing numerous threats, such as landslides, flooding and coastal erosion. The article discusses in detail this occurrence of various geological threats in 2022.

Keywords: mass movements, landslides, earthquakes, subsidence, SAR interferometry, sinkholes

Jednym z ważniejszych wyzwań w pracach związanych z zagrożeniami geologicznymi jest podnoszenie świadomości społecznej o ich istnieniu. Samo rozpoznanie zagrożeń, chociaż jest zadaniem podstawowym, może się okazać nieskuteczne, jeśli nie jest prawidłowo brane pod uwagę na etapie planowania i prowadzenia różnorodnych inwestycji. Uświadamianie społeczeństwa, a przede wszystkim odpowiedzialnych władz i służb jest prowadzone w róż-

nych formach, począwszy od szkoleń, przez publikowanie broszur, artykułów naukowych i poglądowych, tworzenie dedykowanych stron internetowych, aż po prowadzenie kampanii medialnych. Celem niniejszego artykułu jest właśnie podnoszenie świadomości społecznej o zagrożeniach geologicznych poprzez pokazanie zdarzeń geologicznych, jakie miały miejsce w Polsce, w tym przypadku w 2022 r.

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Centrum Geozagrożeń, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków; twoj@pgi.gov.pl; ORCID ID: T. Wojciechowski – 0000-0001-5858-0026, J. Kos – 0000-0002-8971-6237, P. Marciniak – 000-0002-1706-2609, S. Kamieniarz – 0000-0002-8662-0491.

² Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków; ilas@pgi.gov.pl; ORCID ID: 000-0002-8454-9855.

³ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Geologii Morza, ul. Kościarska 5, 80-328 Gdańsk; gusc@pgi.gov.pl; ORCID ID: 000-0001-5185-4979.

⁴ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Centrum Geozagrożeń, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; kkar@pgi.gov.pl; ORCID ID: K. Karkowska – 000-0001-7039-7718, M. Przyłucka – 0000-0002-2998-6008.

Dominującym typem zagrożeń geologicznych w Polsce w 2022 r. były osuwiska, które przyczyniły się do największych uszkodzeń i zniszczeń mienia. W roku tym były także rejestrowane naturalne i indukowane działalnością górniczą wstrząsy sejsmiczne, pojawiały się deformacje powierzchni terenu, a także zapadliska. To właśnie w 2022 r. rozpoczęły się niespotykane dotąd problemy z rozległymi zapadliskami w Trzebini. Początkowo państwowa służba geologiczna (PSG) nie była zaangażowana w ten problem na pełną skalę.

Na podstawie ustawy *Prawo geologiczne i górnicze* (Ustawa, 2011) rola PSG przypisana jest Państwowemu Instytutowi Geologicznemu – Państwowemu Instytutowi Badawczemu (PIG-PIB), a jednym z jej zadań jest rozpoznawanie i monitorowanie zagrożeń geologicznych (Ustawa, 2011). Na potrzeby tych zadań, PIG-PIB realizuje projekty o zasięgu krajowym, finansowane przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW). Są nimi kierowane przez Centrum Geozagrożeń w PIG-PIB: *System Osłony Przeciwosuwiskowej* (SOPO), *Monitoring geodynamiczny Polski* (MGP), *Interferometryczny monitoring powierzchni terenu Polski* (InMoTeP), oraz prowadzony przez Oddział Geologii Morza PIG-PIB program *Kartografia 4D w strefie brzegowej południowego Bałtyku*. Badania nad zapadliskami powstałymi w 2022 r. realizowano w ramach zadania *Prowadzenie działań przez państwową służbę geologiczną w związku z wystąpieniem geologicznych zdarzeń incydentalnych, awarii lub katastrof naturalnych (prace interwencyjne)*. Niniejszy artykuł stanowi przegląd różnego typu zjawisk zarejestrowanych w 2022 r. w Polsce i nawiązuje do raportowania rocznego stanu zagrożeń geologicznych w kraju (Wojciechowski i in., 2021, 2022).

OSUWISKA W 2022 R.

Aktywność osuwisk w Polsce jest determinowana m.in. warunkami atmosferycznymi, wyrażanymi przede wszystkim sumą opadów w danym okresie, ich intensywnością oraz liczbą dni opadowych następujących bezpośrednio po sobie. Kolejnym ważnym czynnikiem, który ma wpływ na uaktywnianie osuwisk jest grubość pokrywy śnieżnej oraz tempo jej topnienia, co bezpośrednio zależy od temperatury powietrza i tempa rozmrażania gruntu. Temperatury ujemne powodują przemarzanie w powierzchniowej strefie górotworu (do ok. 2 m p.p.t. oraz w otoczeniu szerszych szczelin) i mogą mieć także niekorzystny wpływ na stabilność terenów osuwiskowych po okresie bardzo wilgotnym, kiedy w gruncie lub skale zostają uwięzione na dłuższy czas duże ilości wody pochodzące z infiltracji opadów z okresu poprzedzającego spadek temperatury. Im większe opady, im bardziej niekorzystny układ temperatur zimą, tym większa jest możliwość uaktywnienia osuwisk, niezależnie od lokalizacji i rozprzestrzenienia tych zjawisk. Jak wynika z opracowania opublikowanego przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW; Miętus, 2023) pod tym względem rok 2022 należał w Polsce do okresów o mniejszych niż przeciętne opadach. Uśredniona suma opadu atmosferycznego w 2022 r. wyniosła 534,4 mm, co stanowiło 87,4% wartości określonej na podstawie pomiarów w latach 1991–2020 i co sklasyfikowało ten rok jako suchy. Nie znaczy to, że w całym kraju i przez cały rok panowały warunki niesprzyjające rozwojowi ruchów ma-

sowych. Najwyższe sumy opadów w 2022 r., sięgające 950 mm, odnotowano jak zazwyczaj w Tatrach. W wielu rejonach kraju zarejestrowano jednak sumy opadów poniżej ich średniej rocznej (np. w rejonie Kętrzyna, Poznania, Zielonej Góry, Tarnowa i Szczecina), a najniższe (350 mm) stwierdzono w rejonie Gdańska i w centralnej Polsce. Skumulowana suma ilości opadów w 2022 r. na tle obserwacji wieloletnich z okresu 1991–2020 (ostatni okres wielolecia ustanowiony przez Światową Organizację Meteorologiczną) wskazuje, że na początku stycznia oraz w okresie od lutego do marca 2022 r. opady przekraczały średnią z wielolecia, na poziomie średniej utrzymywały się w kwietniu, a w kolejnych miesiącach były znacznie niższe od średniej z wielolecia, choć w okresie od końca lipca do połowy października obserwowano kilka epizodów zwiększonych opadów.

Takie warunki atmosferyczne sprawiły, że w 2022 r. państwowa służba geologiczna odnotowała powstanie zaledwie 9 nowych osuwisk i 5 przypadków ponownego uruchomienia w granicach starych osuwisk (łącznie 14 osuwisk), czyli znacząco mniej niż w minionych latach. Dla porównania, w latach 2020 i 2021 liczba zarejestrowanych osuwisk, które uruchomiły się i powodowały dotkliwe uszkodzenia obiektów budowlanych, wynosiła co najmniej 35 rocznie (Wojciechowski in., 2021, 2022). Należy jednak pamiętać, że powodem zgłaszania uruchomień osuwisk jest powstanie szkód lub zagrożeń powodujących szkody materialne, dlatego PSG nie posiada pełnej informacji o faktycznie uruchomionych osuwiskach. Ze względu na zwiększającą się z roku na rok świadomość zagrożenia ruchami masowymi zarówno wśród urzędników administracji samorządowej, jak i mieszkańców zwiększa się sukcesywnie liczba zgłoszeń osuwisk małych, które nie powodują znacznych i spektakularnych szkód. Takich przypadków w analizowanym 2022 r. było najwięcej. Zgłoszone uaktywnienia osuwisk pochodziły z czterech województw: lubelskiego, małopolskiego, śląskiego i kujawsko-pomorskiego (tab. 1).

Spośród uruchomionych w 2022 r. osuwisk 9 uznano za nowe formy, a 5 za uaktywnione fragmenty osuwisk starych. Wśród nowopowstałych form dominują osuwiska małe, nieprzekraczające kilku arów, jedynie osuwisko powstałe w Rabce-Zdroju ma 14 arów. W grupie osuwisk aktywnych w 2022 r. są także małe formy i fragmenty nieco większych osuwisk. Łączna powierzchnia uruchomionych osuwisk wyniosła 3,25 ha, z czego 93% (3,03 ha) to obszary reaktywowane, czyli znajdujące się w obrębie wcześniej istniejących osuwisk. Pozostałe 7% (0,22 ha) to osuwiska nowopowstałe na terenie dotąd nie objętym ruchami masowymi.

Niewielka skala ruchów masowych pociągnęła za sobą stosunkowo małe szkody (tab. 1). W dziewięciu przypadkach uszkodzeniu uległy drogi powiatowe, gminne i droga lokalna. Do najbardziej znaczących zniszczeń doszło w Rabce-Zdroju. Osuwisko uruchomiło się po intensywnych opadach deszczu pod koniec września 2022 r. W pierwszej kolejności pojawiły się spękania w pasie drogowym zlokalizowanym nad linią kolejową Kraków–Zakopane. Powstała szczelina, która w czasie kilkunastu dni ulega powiększeniu do 10 cm. Znajdujący się poniżej mur oporowy uległ zniszczeniu (ryc. 1). Konieczne było całkowite wyłączenie drogi z ruchu, co spowodowało paraliż komunikacyjny południowej części Rabki. Dodatkowo osuwisko stanowi zagrożenie dla znajdujących się poniżej linii kole-

Tab. 1. Osuwiska uruchomione w 2022 r. (zgłoszone do PSG)
Table 1. Landslides triggered in 2022 (reported to PGS)

Województwo <i>Voivodeship</i>	Powiat <i>County</i>	Gmina <i>Commune</i>	Liczba osuwisk <i>Number of landslides</i>	Uszkodzenia <i>Damages</i>	Czas uruchomienia <i>Activation</i>
lubelskie	janowski	Chrzanów	1	droga gminna <i>commune road</i>	28 XII 2022
małopolskie	bocheński	Trzciana	1	droga gminna <i>commune road</i>	IV 2022
	Kraków	Kraków	1	altany działkowe <i>summerhouses</i>	IV 2022
	gorlicki	Lipinki	1	brak uszkodzeń <i>no damages</i>	V 2022
	limanowski	Limanowa	2	droga gminna <i>commune road</i> ściana kamieniołomu <i>quarry escarpment</i>	1 II 2022 26 XII 2022
	nowotarski	Rabka-Zdrój	1	droga gminna <i>commune road</i>	IX 2022
	tarnowski	Pleśna	1	droga powiatowa <i>county road</i>	2022
śląskie	bielski	Szczyrk	1	brak uszkodzeń <i>no damages</i>	7 VIII 2022
	gliwicki	Sośnicowice	1	droga dojazdowa <i>access road</i>	VIII 2022
	ząbkowicki	Ziębice	2	droga powiatowa <i>county road</i> droga powiatowa <i>county road</i>	VII 2022 VII 2022
	żywiecki	Ujsoły	1	droga powiatowa <i>county road</i>	22 VIII 2022
kujawsko-pomorskie	toruński	Lubicz	1	budynek mieszkalny <i>residential house</i>	7 VIII 2022



Ryc. 1. Uszkodzenie muru oporowego w Rabce Zdroju. Fot. J. Kos
Fig. 1. Damage to the retaining wall in Rabka Zdrój. Photo by J. Kos

jowej torów i sieci trakcyjnej. Obecnie trwają prace związane z zabezpieczeniem zagrożonej infrastruktury i odbudową uszkodzonej drogi.

W większości pozostałych przypadków do uruchomienia osuwisk doszło w wyniku podcięcia erozyjnego podnóża przez wezbrane ciekły, np.: w Limanowej, Ujsołach, Kamionnej, Czerńcyczach czy Złotorzy. Co najmniej w trzech przypadkach uruchomienie osuwisk należy przynajmniej częściowo wiązać z przyczynami antropogenicznymi. W Mę-

cinie powyżej czynnego kamieniołomu doszło do uruchomienia osuwiska (ryc. 2), które charakteryzowało się wysoką dynamiką ruchu. Przez kilka dni po jego uruchomieniu można było obserwować, a także usłyszeć osuwanie się pakietów skalnych i pęknięcie korzeni drzew. W Krakowie w rejonie budowy obwodnicy doszło do uruchomienia fragmentu rozległego osuwiska, którego miąższość koluwium sięga co najmniej 17 m. Uszkodzeniu uległa lekka zabudowa na terenie ogrodów działkowych. W Rychwałdzie od co najmniej 2019 r., w wyniku podcięcia stoku i uformowania skarpy przy drodze, rozwija się niewielkie osuwisko. Sukcesywnie powstają nowe szczeliny, które z czasem przekształcają się w skarpy osuwiskowe. Osuwisko z roku na rok prograduje w górę stoku, najmłodsza skarpa osuwiskowa uformowała się w 2022 r. w najwyższej części osuwiska (ryc. 3). W tym przypadku, choć nie doszło do tej pory do żadnych szkód, zagrożona jest droga powiatowa przed czołem osuwiska oraz linia energetyczna znajdująca się powyżej osuwiska oraz wodociąg w granicach osuwiska.

Pomimo tak suchego roku i nielicznych zgłoszeniach można było zaobserwować koincydencję pomiędzy okresami opadów a aktywizującymi się osuwiskami. Większość osuwisk należy wiązać z bardziej wilgotnym okresem początku roku oraz okresem letnim, szczególnie lipcem i sierpniem. Na podstawie obserwacji warunków atmosferycznych

rycznych i aktywności ruchów masowych 2022 r. należy zaliczyć do okresu, w którym zagrożenie ruchami masowymi było niewielkie.

Oczywistym jest, że w 2022 r. aktywnych osuwisk w Polsce było więcej, niż te oficjalnie zarejestrowane. Nie każda aktywność osuwiska jest zgłaszana do PIG-PIB lub do urzędów administracji samorządowych. Bez obserwacji wyraźnych nowych form wewnątrzosuwiskowych czy też zniszczeń wiedzy o aktywności ruchów masowych dostar-

czyć może tylko monitoring instrumentalny. Biorąc pod uwagę, że większość osuwisk w Polsce charakteryzuje się ekstremalnie powolnym tempem przemieszczeń (*sensu*: Cruden, Varnes, 1996), monitorowanie ich aktywności powinno się odbywać za pomocą czułych metod pomiarowych. Dokładna liczba monitorowanych osuwisk w Polsce nie jest znana. W 2022 r. prace takie prowadził PIG-PIB, ale też bardzo wiele osuwisk było monitorowanych przez inwestorów, np. na potrzeby inwestycji drogowych. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy monitorował 71 osuwisk, z czego 60 w ramach projektu SOPO (ryc. 4), a pozostałe 11 było monitorowanych tylko powierzchniowo, na zlecenie podmiotów samorządowych w powiecie wielickim, Szczecinie i Gdańsku.

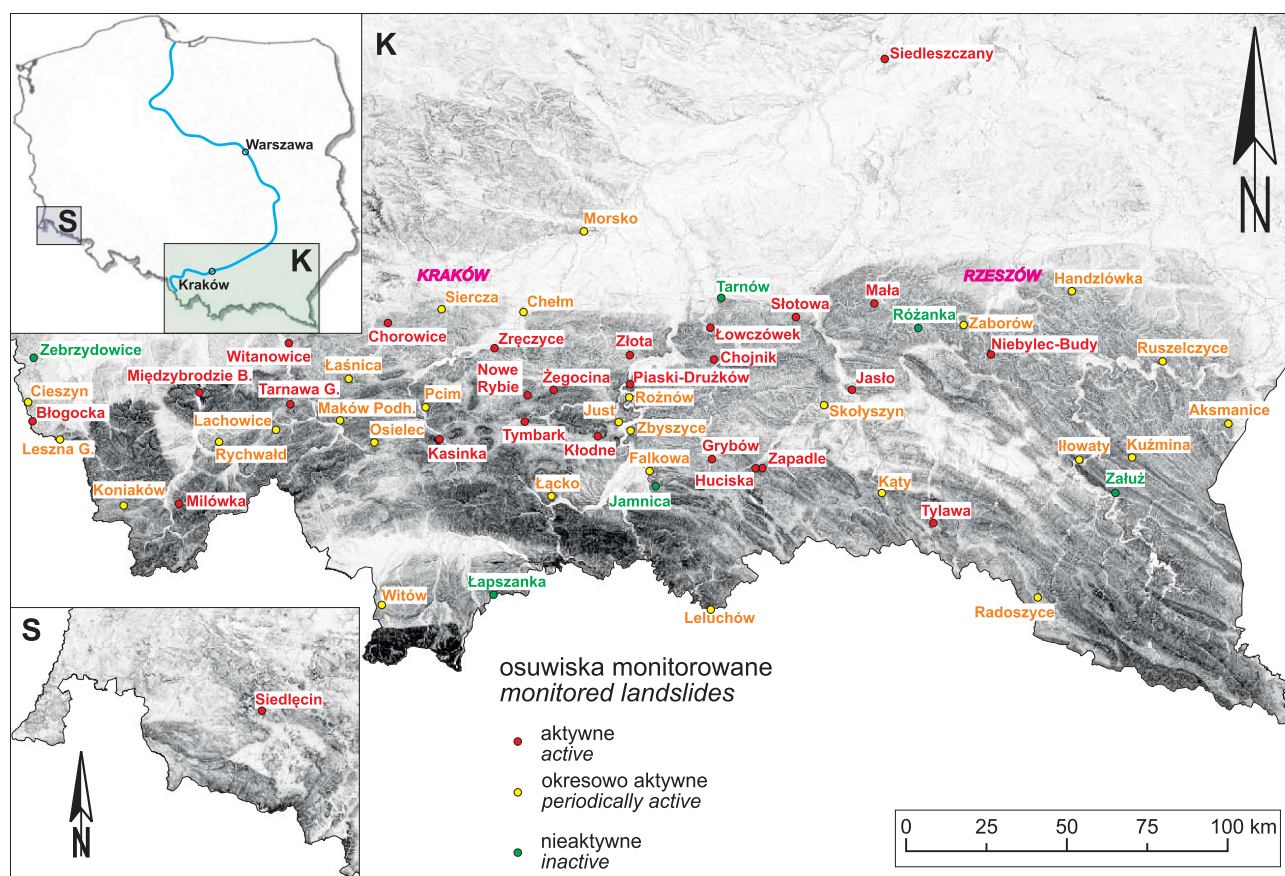
Monitoring powierzchniowy jest prowadzony na podstawie pomiarów GNSS (Globalny System Nawigacji Satelitarnej, *Global Navigation Satellite System*), naziemnego skaningu laserowego, za pomocą satelitarnej interferometrii radarowej, jest także uzupełniany fotogrametrycznymi pomiarami wykonywanymi z wykorzystaniem dronów (Wojciechowski i in., 2021). Pomiary wgłębne są prowadzone na podstawie cyklicznych pomiarów inklinometrycznych, piezometrycznych oraz stałych obserwacji ekstensometrycznych i ciśnienia porowego na wytypowanych osuwiskach (Warmuz, Nescieruk, 2019; Wojciechowski i in., 2022).



Ryc. 2. Męcina – osuwisko powyżej kamieniołomu. Fot. S. Kamieniarz
Fig. 2. Męcina – landslide above the quarry. Photo by S. Kamieniarz



Ryc. 3. Osuwisko w Rychwałdzie. Fot. K. Górka
Fig. 3. Landslide in Rychwałd. Photo by K. Górka



Ryc. 4. Aktywność osuwisk monitorowanych w ramach SOPO w 2022 r.

Fig. 4. Activity of landslides monitored by LCS (Landslide Counteracting System) in 2022

Na podstawie otrzymanych wyników monitoringu 60 osuwisk przeprowadzonych w ramach SOPO w 2022 r. stwierdzono, że 26 osuwisk było aktywnych, 28 – okresowo aktywnych, a 6 – nie wykazywało objawów aktywności (ryc. 4). Udokumentowane stopnie aktywności osuwisk wskazują na ich malejący trend, niemniej w dalszym ciągu zauważa się występowanie niektórych osuwisk o znacznej dynamice przemieszczeń, pomimo mniejszych opadów atmosferycznych. Największe przemieszczenia zarejestrowano na osuwiskach w Słotowej, Szymbarku-Zapadle, Szymbarku-Huciskach, Tylawie i Siedleszczytach. Na osuwisku w Słotowej, gdzie znajduje się 8 budynków mieszkalnych i gospodarczych oraz odcinek drogi powiatowej, pomierzono w inklinometrach przemieszczenia na głębokości 21,5 m p.p.t. osiągające 22 mm. Stwierdzono także ruchy powierzchniowe w przedziale 4–21 cm w centralnej części osuwiska, w której występuje zabudowa. W Szymbarku-Zapadle zarejestrowano przemieszczenia powierzchniowe dochodzące do 1,65 m w skali roku, wskazujące na bardzo znaczne przemieszczenia kolumny w kierunku cieku, a w ściętych inklinometrach doszło do przesunięć kolumny o 9 mm na głębokości 13,5 m p.p.t. Mniejszą dynamikę przemieszczeń obserwuje się na osuwisku w Szymbarku-Huciskach, gdzie w inklinometrach zmierzono przemieszczenia o maksymalnej wielkości 7 mm/r., a repery geodezyjne wykazały zmiany położenia od 3 do 17 cm/r. Oba osuwiska stanowią istotne zagrożenie dla infrastruktury drogowej czy obiektów budowlanych i mogą spowodować zaciśnięcie koryta cieku Bielanka przepływającego u ich czoła. Osuwisko w Tylawie w 2022 r. w dalszym ciągu wykazywało przemieszcze-

nia od 28 do 39 mm, które stanowi zagrożenie dla drogi krajowej nr 19, przebiegającej w jego dolnej części.

W 2022 r. w ramach SOPO rozpoczęto prowadzenie pomiarów monitoringowych osuwiska w Siedleszczytach (powiat tarnobrzeski), Niebylecu i Różance (powiat strzyżowski) oraz w Siedlecinie (powiat karkonowski; ryc. 4). Dla każdego z osuwisk został zainstalowany system monitoringu powierzchniowego i wgłębnego. Już pierwsza seria pomiarowa na osuwisku w Siedleszczytach wskazała na jego znaczną dynamikę poniżej drogi wojewódzkiej nr 985, gdzie na głębokości 7,0–8,5 m stwierdzono przemieszczenia rzędu 9 mm/r., co może w niedalekiej przyszłości doprowadzić do uszkodzenia DW 985.

Pomiary przemieszczeń powierzchniowych w przysiółku Łazki w Międzybrodziu Bialskim wskazują na dalsze ruchy w dolnej części i zachodnim fragmencie osuwiska. Automatyczne urządzenia ostrzegawcze zlokalizowane w środkowej części osuwiska nie wykazały w 2022 r. przekroczeń progów alarmowych.

W 2022 r. zauważalny jest trend rejestracji mniejszych wartości przemieszczeń zarówno w systemie monitoringu powierzchniowego, jak i wgłębnego w stosunku do lat ubiegłych. W analizowanym okresie nie została ścięta żadna kolumna inklinometryczna zamontowana w ramach projektu SOPO. Pomiary przeprowadzone na 6 osuwiskach zlokalizowanych w miejscowościach Zebrzydowice, Łapszanka, Tarnów, Różanka, Jamnica i Załuż (ryc. 4) wskazują na brak rejestrowanych przemieszczeń powyżej błędu pomiarowego. W kolejnym okresie pomiarowym zostanie podjęta decyzja w kwestii częstotliwości prowadzenia pomiarów na ww. osuwiskach.

W analizowanym okresie PIG-PIB prowadził także pomiary powierzchniowe poza systemem SOPO w miejscowościach: Podstolice, Łazany, Lednica Górna, Golkowice, Chorągiewca, Wieliczka (powiat wielicki), w Szczecinie i Gdańsku. Aktywnością charakteryzowały się osuwiska w Chorągiewcy, Lednicy Górnej oraz część osuwiska w Łazanach.

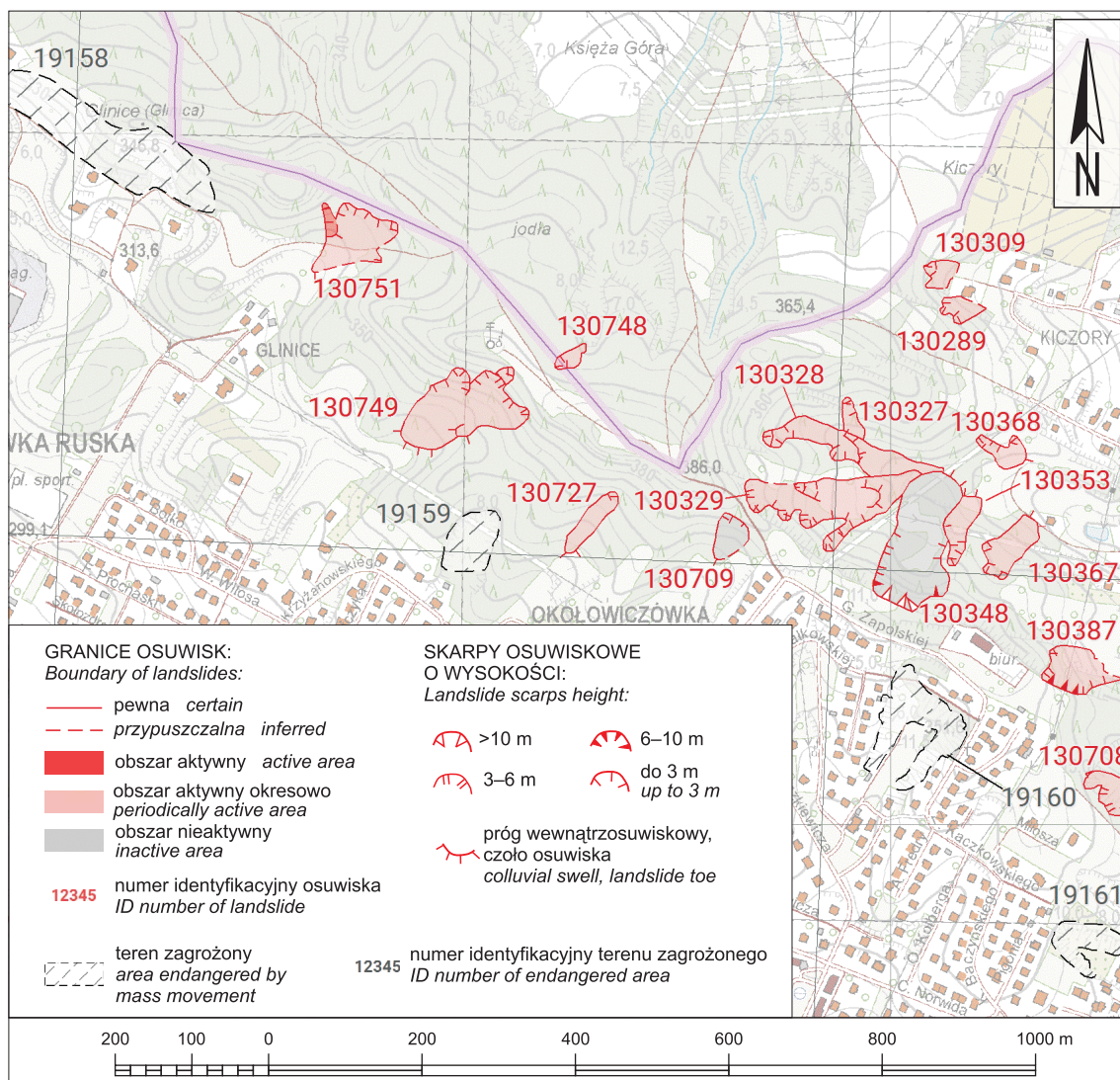
ROZPOZNANIE OSUWISK

W roku 2022 ustalanie terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi oraz terenów, na których występują te ruchy, było realizowane głównie w ramach projektu SOPO przez PIG-PIB oraz podwykonawców. Kilka powiatów przeprowadziło rejestrację we własnym zakresie.

W ramach projektu SOPO ukończono *Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000* (MOTZ) dla sześciu gmin z województwa podkarpackiego: Czarna (Kamieniarz i in., 2022), Iwierzycy (Janeczek i in., 2022), Sanok miasto (Bielak i in., 2022, ryc. 5), Lesko (Zimnal i in., 2022), Bukowsko (Walicka i in., 2022), Dynów miasto (Chaszczewicz i in., 2022), a także dla powiatu oleckiego (Kwecko i in., 2022) oraz pozakarpackiej części

powiatów tarnowskiego (Popielski, Kurkowski, 2022a), brzeskiego (Popielski, Kurkowski, 2022b), bocheńskiego (Albrycht, Oźga, 2022a) i wielickiego (Albrycht, Oźga, 2022b). Na wydanych mapach znalazło się łącznie 3425 osuwisk (z czego 683 wykartowano w 2022 r.) i 106 terenów zagrożonych ruchami masowymi. Osuwiska istotnie zagrażające zabudowie i infrastrukturze stanowiły niespełna 2,5% wszystkich zarejestrowanych form, ale wyznaczenie osuwisk niestanowiących obecnie istotnego zagrożenia ma istotne znaczenie zwłaszcza dla dalszego planowania przestrzennego na terenie ww. jednostek administracyjnych.

W ramach projektu SOPO w 2022 r. rozpoczęto prace inwentaryzacyjne na terenie 15 powiatów (lidzbarski, szczeciński, Toruń miasto, aleksandrowski, Płock miasto, puławski, karkonoski, kamiennogórski, opatowski, sandomierski, tarnobrzeski, zgorzelecki, dzierzoniowski, nakielski i średzki), gdzie udokumentowano ponad 400 osuwisk. Kontynuowano również inwentaryzację na obszarze gmin, dla których prace rozpoczęto we wcześniejszych latach (Tyczyn, Dynów wieś, Olszanica, Rzeszów, Zagórz, Solina, Baligród, Sanok, Lutowiska, Cisna, Ustrzyki Dolne i Komańcza), na ich terenie rozpoznano prawie 2500 osuwisk, z czego najwięcej (1000) w gminie Ustrzyki Dolne.



Ryc. 5. Fragment *Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000* miasta Sanok (Bielak i in., 2022)

Fig. 5. Part of the *Map of landslides and endangered areas on the border of Sanok city* (Bielak et al., 2022)

Rejestrację osuwisk poza projektem SOPO prowadzono na terenie powiatów: choszczeńskiego (woj. zachodniopomorskie), gorzowskiego, nowosolskiego i sulęcińskiego (woj. lubuskie), kolskiego i obornickiego (woj. wielkopolskie), koneckiego (woj. świętokrzyskie), mragowskiego (woj. warmińsko-mazurskie), radomskiego i miasta Warszawy (woj. mazowieckie), rypińskiego (woj. kujawsko-pomorskie), miasta Siemianowice Śląskie (woj. śląskie) i zgierskiego (woj. łódzkie). Biorąc pod uwagę prace realizowane przez starostów, do bazy SOPO wprowadzono łącznie 229 osuwisk i 261 terenów zagrożonych ruchami masowymi.

Podsumowując, w Polsce w 2022 r. było rozpoznanych i udokumentowanych blisko 3800 osuwisk i ponad 300 terenów zagrożonych ruchami masowymi.

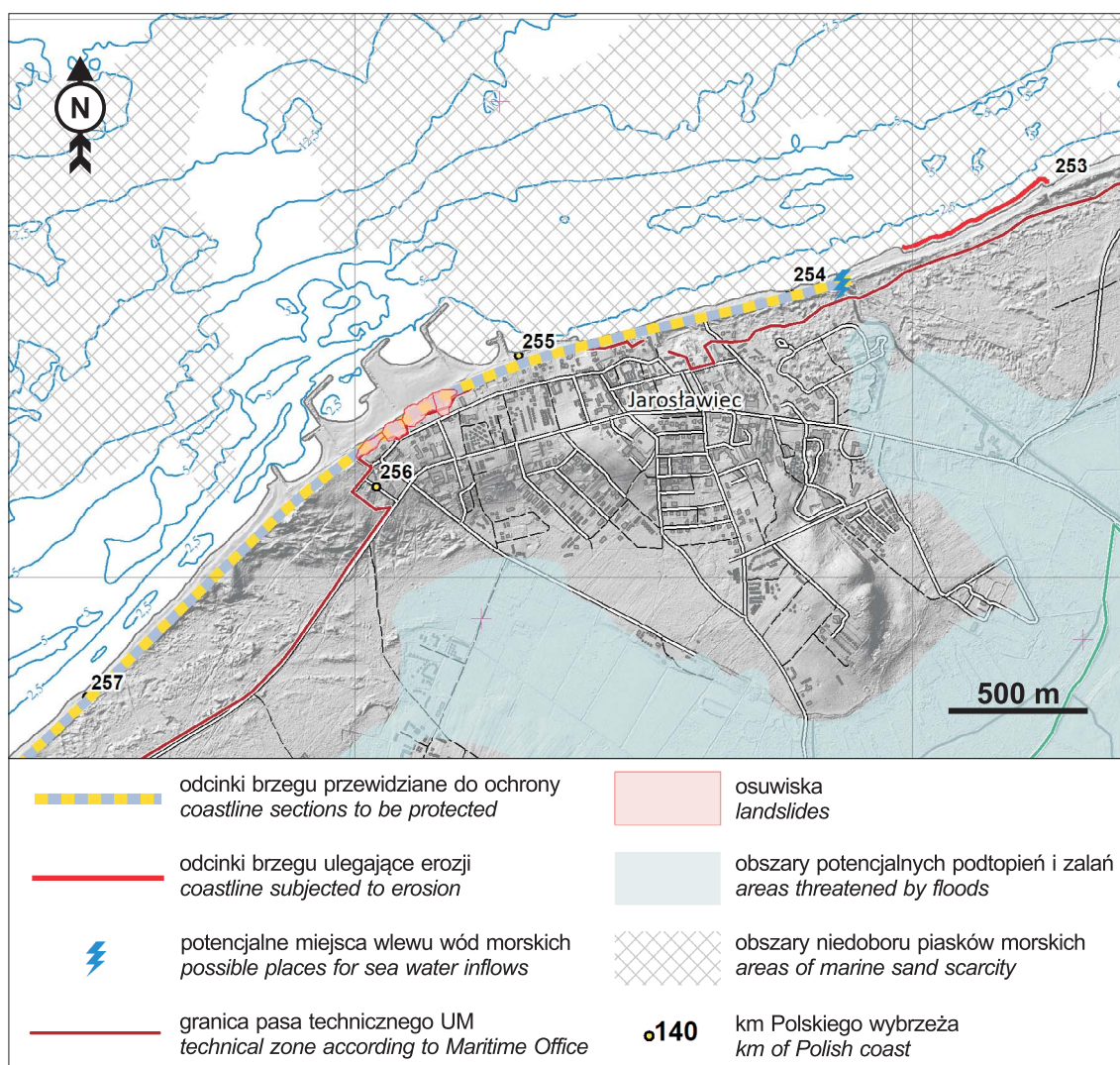
ZAGROŻENIA GEOLOGICZNE W STREFIE BRZEGOWEJ BAŁTYKU

Dla oceny geozagrożeń na wybrzeżu rok 2022 był bardzo istotny. Właśnie w tym roku zakończono kolejny etap projektu *Kartografia 4D w strefie brzegowej południowego Bałtyku* (<https://www.pgi.gov.pl/kartografia-4d/>). Projekt ten obejmuje kompleksowe rozpoznanie geologiczne

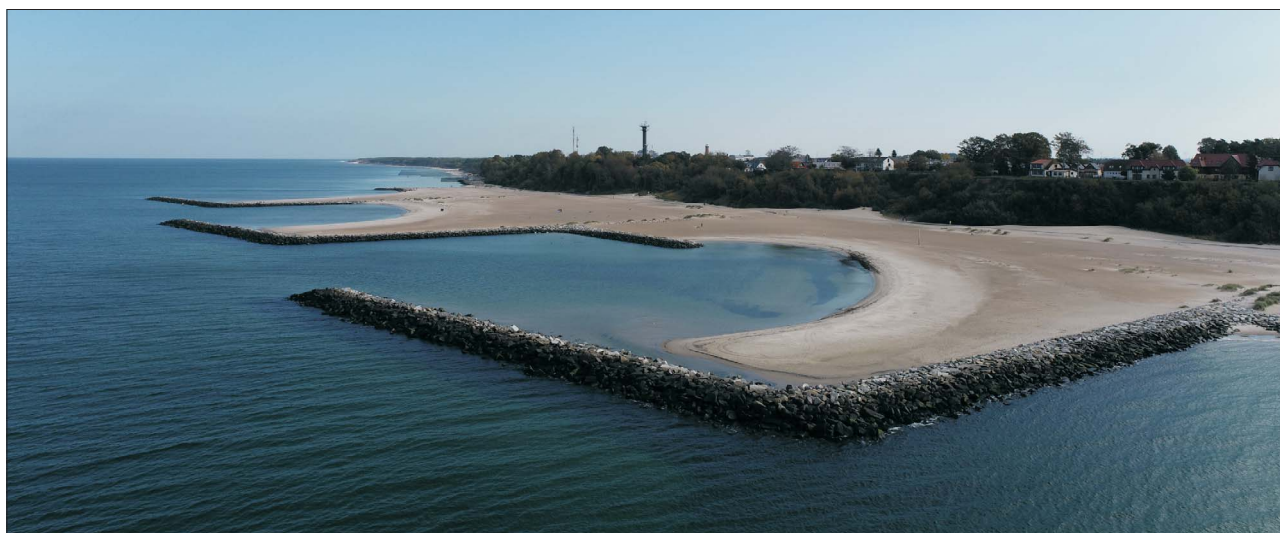
strefy brzegowej, w tym identyfikację geozagrożeń (Uścińowicz i in., 2021; ryc. 6). Zakończone w 2022 r. prace obejmowały opis znacznego odcinka wybrzeża o długości ok. 50 km i powierzchni ok. 190 km² (od Ustki po rejon miejscowości Dąbki; Uścińowicz, 2023). Na tym obszarze zidentyfikowano szereg geozagrożeń o różnym charakterze i prawdopodobieństwie wystąpienia w określonym przedziale czasu (Uścińowicz i in., 2021).

W rejonie Jarosławca zagrożenie osuwiskowe dotyczy głównie wybrzeża klifowego wysoczyzny, gdzie procesy osuwiskowe są znaczące ze względu na skomplikowaną budowę geologiczną. Mimo zabezpieczeń osuwiska nadal mogą zagrażać infrastrukturze. Obecnie największe osuwiska zostały zabezpieczone charakterystycznym systemem ochronnym zapobiegającym dalszemu ich rozwojowi – pomiędzy wyprowadzonymi w morze falochronami z narzutu kamiennego naniesiono piasek, tworząc formy typu *pocket beach* (ryc. 7). Wspomniane ruchy masowe, pomimo obecnego ustabilizowania i zabezpieczenia, nadal mogą zagrażać istniejącej infrastrukturze i obiektom budowlanym.

Zalania i podtopienia nisko położonych terenów mogą być spowodowane falami sztormowymi, które przerywają pas wydm, lub długoterminowymi zmianami poziomu morza, wpływając na obieg wód podziemnych i degradację



Ryc. 6. Przykładowa mapa geozagrożeń zidentyfikowanych w strefie brzegowej Morza Bałtyckiego (materiały PIG-PIB)
Fig. 6. Example map of geohazards identified in the Baltic Sea coastal zone (PGI-NRI materials)



Ryc. 7. Umocnienia brzegowe w rejonie miejscowości Jarosławiec (materiały PIG-PIB, fot. P. Maciaszek)
Fig. 7. Coastal protection in the area of Jarosławiec (PGI-NRI materials, photo by P. Maciaszek)

zasobów wód słodkich. Opisujące zjawisko dotyczy wybrzeża mierzejowego, wybitnie niskiego oraz wąskiego, gdzie wlew wód morskich napotyka na względnie słabą i łatwą do pokonania barierę, np. rejon jezior Bukowo, Kopań, Wicie, a także położony na wschód od Darłowa, przyległy do mierzei jeziora Kopań.

Przyczyną erozji brzegu morskiego jest również ukształtowanie dna morskiego i procesy zachodzące na nim (wzdłużbrzegowy transport osadu i wyprowadzanie osadu w kierunku otwartego morza). Zakończone w 2022 r. badania wykazały, że skłony podwodny charakteryzuje się niewielkim nachyleniem i deficytem piasku co sprzyja erozji, zwłaszcza w rejonach wybrzeży mierzejowych, gdzie zmiany linii brzegowej są znacznie większe niż w klifach.

Zjawiska geodynamiczne w strefie brzegowej, generowane przez powiązane ze sobą czynniki, tworzą skomplikowane relacje, co utrudnia ich przewidywanie i ocenę.

WSTRZĄSY SEJSMICZNE

Aktywność sejsmiczna na obszarze Polski jest monitorowana za pomocą sieci stacji sejsmicznych PSG_Sejs_NET (ryc. 8). Stacje sejsmiczne są rozmieszczone w taki sposób, aby było możliwe rejestrowanie zjawisk sejsmicznych z całego kraju oraz stref przygranicznych. Według stanu na dzień 31.12.2022 r. w sieci PSG_Sejs_NET pracowały łącznie 42 stacje sejsmiczne, w tym 22 mobilne i 2 stałe stacje, stanowiące własność PIG-PIB, oraz 18 krótkookresowych stacji należących do Instytutu Geofizyki (IGF) PAN, z których dane są dostarczane w ramach kooperacji. Pomocniczo były również wykorzystywane dane z Polskiej Sieci Sejsmologicznej administrowanej przez IGF PAN.

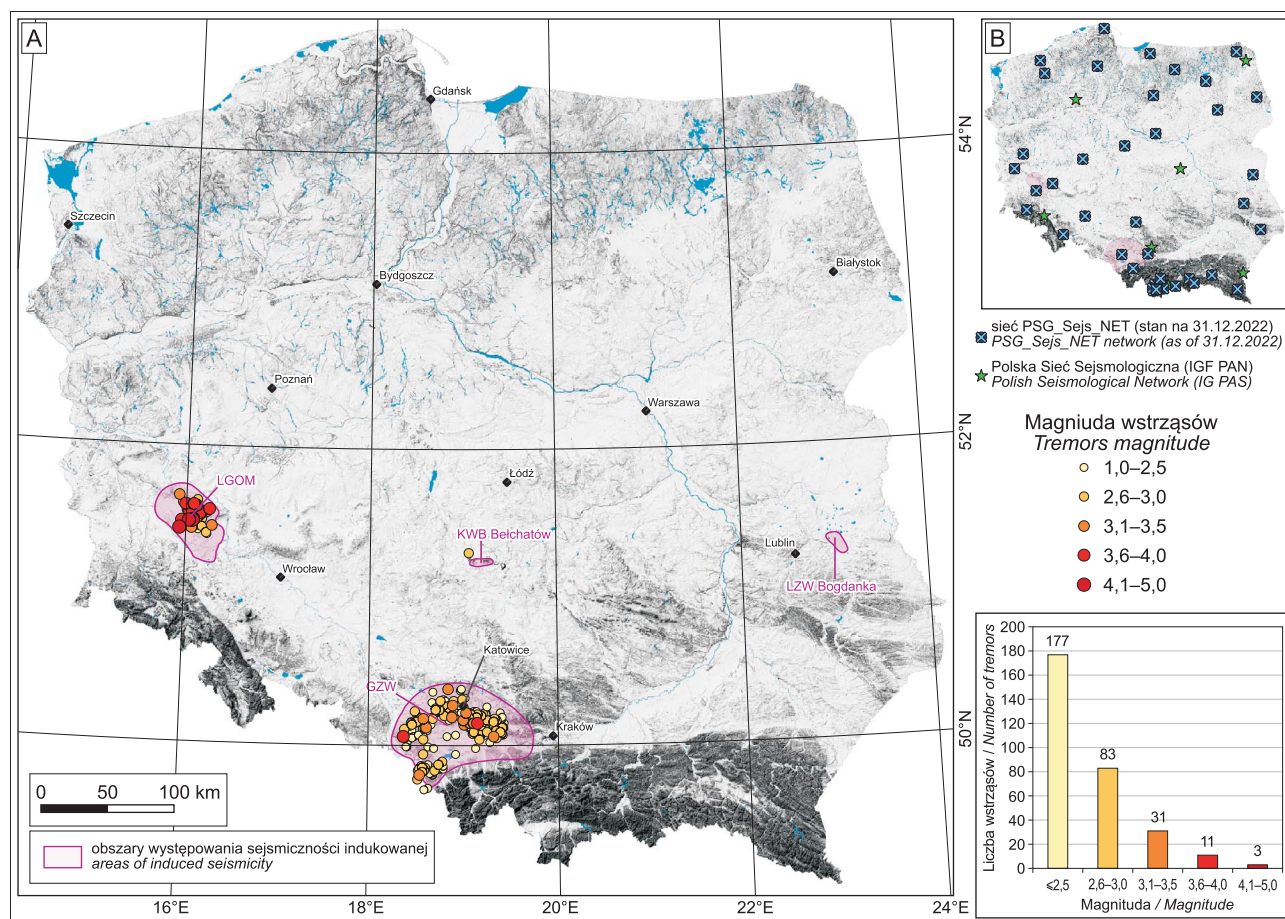
Na początku 2022 r. wprowadzono wykonywaną przez eksperta weryfikację zjawisk sejsmicznych raportowanych przez automatyczny system alertowania, polegającą na ręcznym oznaczaniu pierwszych fal P (fala podłużna) i S (fala poprzeczna). Proces ten był wykonywany w programie SWIP5 (Wiszniewski i in., 2021). Dodatkowe sprawdzenie było przeprowadzane na bieżąco poprzez porównanie z katalogiem wstrząsów Górnośląskiej Sieci Sejsmologicznej (IS EPOS, 2017) oraz biuletynów IPEC (*Institute of Physics of the Earth*, 1996-).

W 2022 r. zweryfikowano 418 unikalnych alertów o zjawisku sejsmicznym, z których 268 dotyczyło wstrząsów lokalnych. Dodatkowo uwzględniono 27 wstrząsów spoza systemu alertowania, a zatem w 2022 r. zarejestrowano i zweryfikowano łącznie 305 zdarzeń sejsmicznych. Wszystkie zarejestrowane wstrząsy były zlokalizowane w obszarach występowania sejsmiczności indukowanej działalnością górniczą: Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (GZW), Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym (LGOM) oraz w regionie Kopalni Węgla Brunatnego *Bełchatów* (ryc. 1A).

Najsilniejsze zjawisko sejsmiczne w 2022 r. o magnitudzie M4.7 odnotowano w dniu 7.04.2022 r. o godz. 16:58:46.6 UTC z epicentrum wstrząsu w regionie LGOM. Fragmenty sejsmogramów zarejestrowanych na pięciu najbliższych stacjach z zapisem obrazu falowego tego wydarzenia zaprezentowano na rycinie 9. W latach ubiegłych dużym problemem było lokalizowanie zjawisk z regionu LGOM, ale dzięki instalacji nowych stacji sejsmicznych w tym regionie w 2022 r. oraz wprowadzeniu manualnej lokalizacji wstrząsów sytuacja uległa znaczącej poprawie.

PIONOWE DEFORMACJE POWIERZCHNI TERENU

Identyfikacja obszarów występowania ciągłych deformacji terenu na obszarze Polski jest realizowana w ramach zadania PSG *Interferometryczny Monitoring Terenu Polski* (InMoTEP; <https://www.pgi.gov.pl/monitoring-osiadan/o-projeckcie.html>). Dzięki uruchomieniu w 2021 r. serwisu *European Ground Motion Service* (EGMS, Costantini i in., 2021) państwowa służba geologiczna mogła wyznaczyć wszystkie te rejony, w których jest widoczny trend w zmianie położenia punktów na powierzchni terenu. Warstwa informacyjna zawierająca dane o przemieszczeniach została pozyskana z przetworzeń InSAR satelitarnych scen radarowych (Crosetto i in., 2016). Dane punktowe (tzw. punkty PS – *permanent scatter* – rozpraszacze stabilne; Perski, 2019) pozyskane z serwisu mają szereg atrybutów, wśród których najważniejszy to średnia prędkość zmiany położenia w kierunku pionowym w mm/r. oraz względne zmiany prędkości dla każdej pozyskanej sceny (obszar



Ryc. 8. A – lokalizacja wstrząsów sejsmicznych w 2022 r., B – lokalizacja stacji sejsmicznych sieci PSG_Sejs_NET (stan na 31.12.2022 r.)
Fig. 8. A – location of tremors epicentres in 2022, B – location of seismic stations in the PSG_Sejs_NET network (as of 31.12.2022)

pomiaru satelitarnego), umożliwiające wykreślenie szeregów czasowych. Dane te pozwalają na identyfikację miejsc gdzie zachodzi deformacja ciągła, o charakterze liniowym lub zbliżonym do liniowego. Wyznaczone miejsca, w których zaobserwowano deformacje, nie są więc miejscami, gdzie ruchy te wystąpiły tylko w 2022 r., lecz gdzie trwały wcześniej i ruch ten nie zanikł w badanym czasie. Dla terenu Polski pozyskano 3,7 mln punktów pomiarowych.

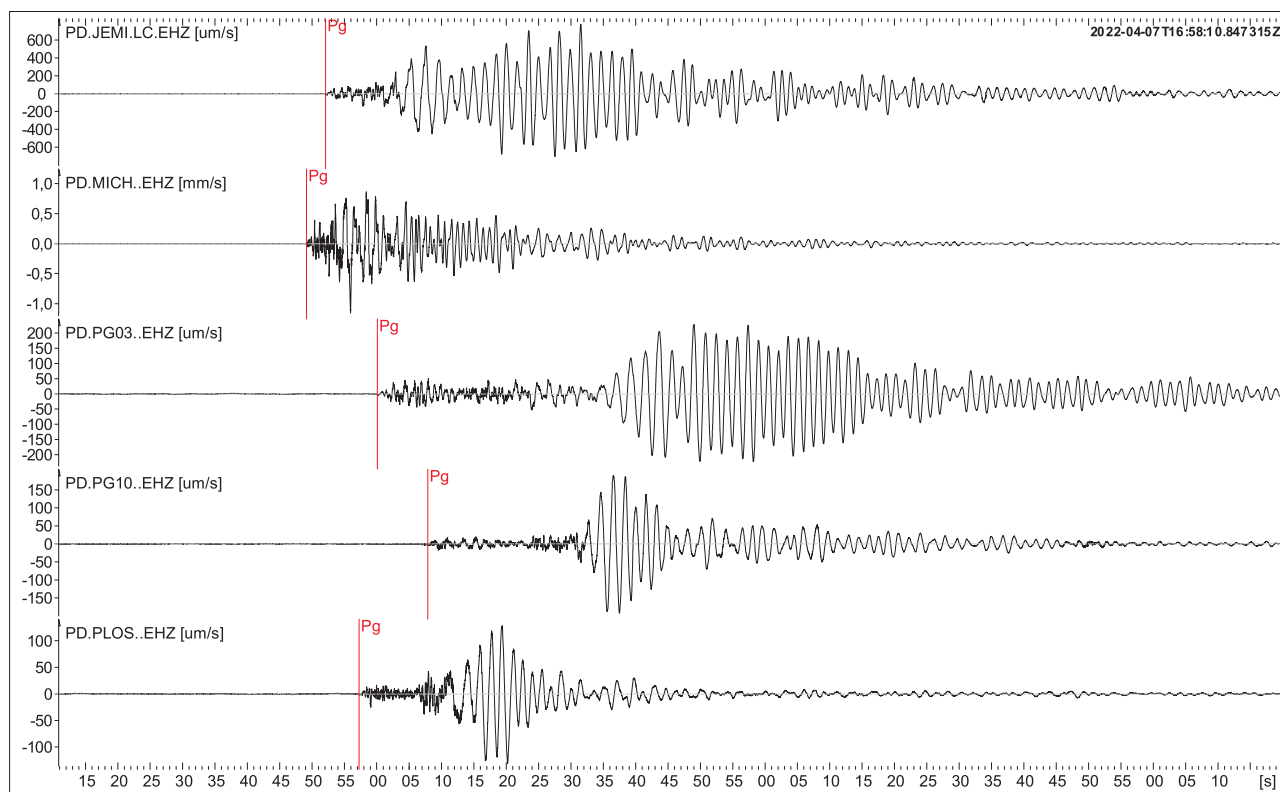
Wyniki badań wykazały stabilność dla większej części kraju (ryc. 10). Aż 99% punktów PS cechuje się wartościami prędkości deformacji poniżej 5 mm/r. Geostatystyczna analiza ujawniła 221 miejsca pokrywające łącznie 4,4 tys km², gdzie zaobserwowano większe skupiska punktów PS wykazujących ruch w kierunku pionowym, z czego 204 dotyczyły osiadania, a 17 podnoszenia (ryc. 10). Agregacja obszarów znajdujących się blisko siebie oraz wykluczenie małych poligonów o nieistotnych wartościach ruchu, umożliwiło wyznaczenie 21 miejsc charakteryzujących się znaczącymi deformacjami w skali kraju. Większość z nich jest związana z eksploatacją górnictwem: węgla kamiennego i brunatnego, soli, gazu ziemnego i ropy (ryc. 11). Największe zarejestrowane osiadanie wynosiło –10 cm/r. w rejonie Bogatyni (ograniczenia metody InSAR nie pozwoliły na rejestrację większych osiadań). Największe podnoszenie 2 cm/r. zanotowano w okolicach Trzebini.

ZAPADLIKA

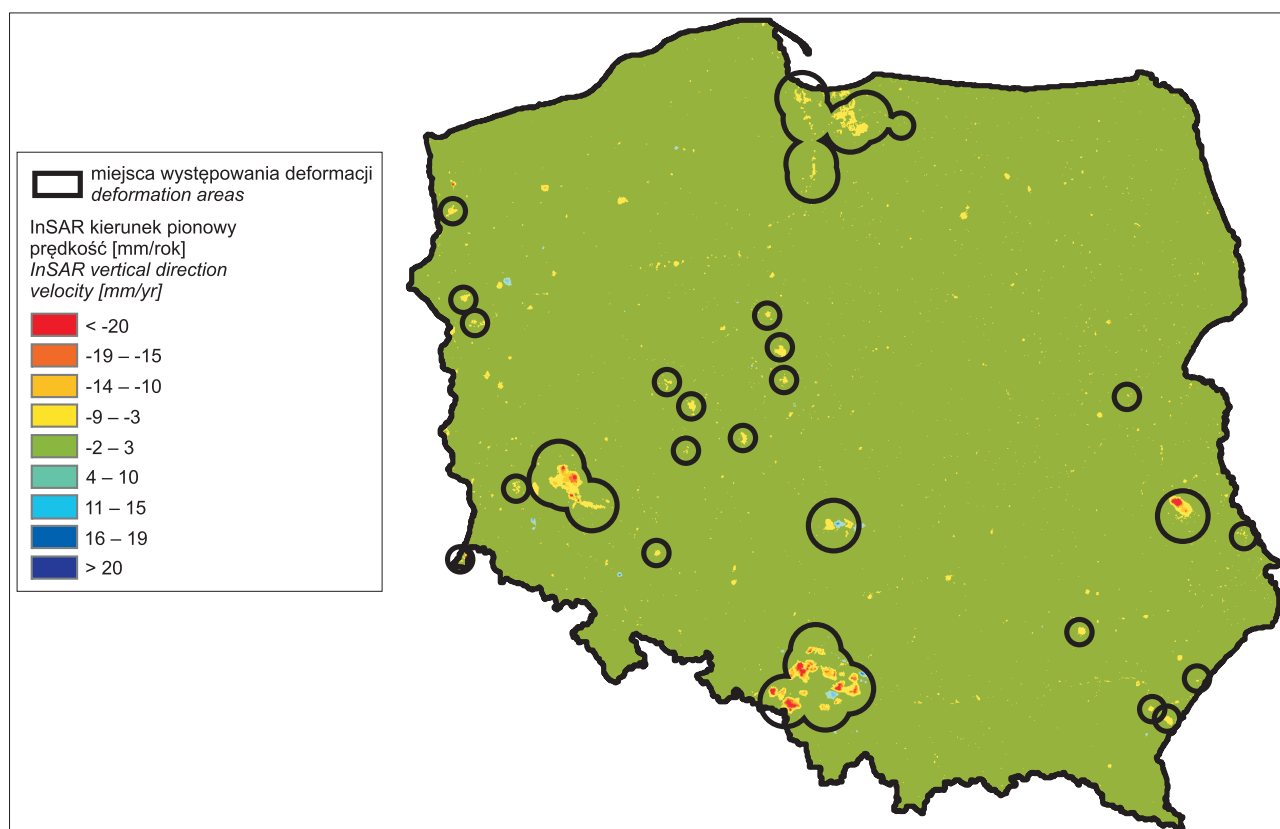
Rok 2022 przypomniał społeczeństwu w Polsce, zwłaszcza mieszkańcom zachodniej Małopolski, jak istotnym

zagrożeniem geologicznym są pogórnice deformacje nieciągłe. W połowie roku nasilił się problem zapadlisk w Trzebini, związany ze stale podnoszącym się poziomem wód podziemnych po likwidacji Kopalni Węgla Kamiennego *Siersza* i zaprzestaniu odpompowywania wód z górotworu w 2000 r. Powstawaniu zapadlisk sprzyjało tam płytkie kopalnictwo, gdzie dominującym systemem eksploatacji był zawał stropu. Choć skutki likwidacji kopalni poprzez jej zatopienie były dyskutowane w literaturze (m.in. Kleta, Plewa, 2001; Frolik, 2006), faktyczny czas oraz rzeczywiste efekty wynikające z jej całkowitego zatopienia są dokładniej znane dopiero teraz. Punktem kulminacyjnym było powstanie we wrześniu 2022 r. leja zapadliskowego na cmentarzu w Trzebini-Sierszy, który pochłonął kilkadziesiąt grobów. Po tym wydarzeniu badania na rzecz zapadlisk w tym rejonie zostały zintensyfikowane. Z początkiem 2023 r. do badań włączyła się państwowa służba geologiczna. W wyniku kompleksowej inwentaryzacji deformacji pogórnich występujących w zasięgu oddziaływania dawnej KWK *Siersza* wykazano, że problem deformacji w tym obszarze jest znacznie większy niż dotychczas przypuszczano oraz wskazano miejsca najbardziej zagrożone (Wojciechowski i in., 2023; Wódka i in., 2024).

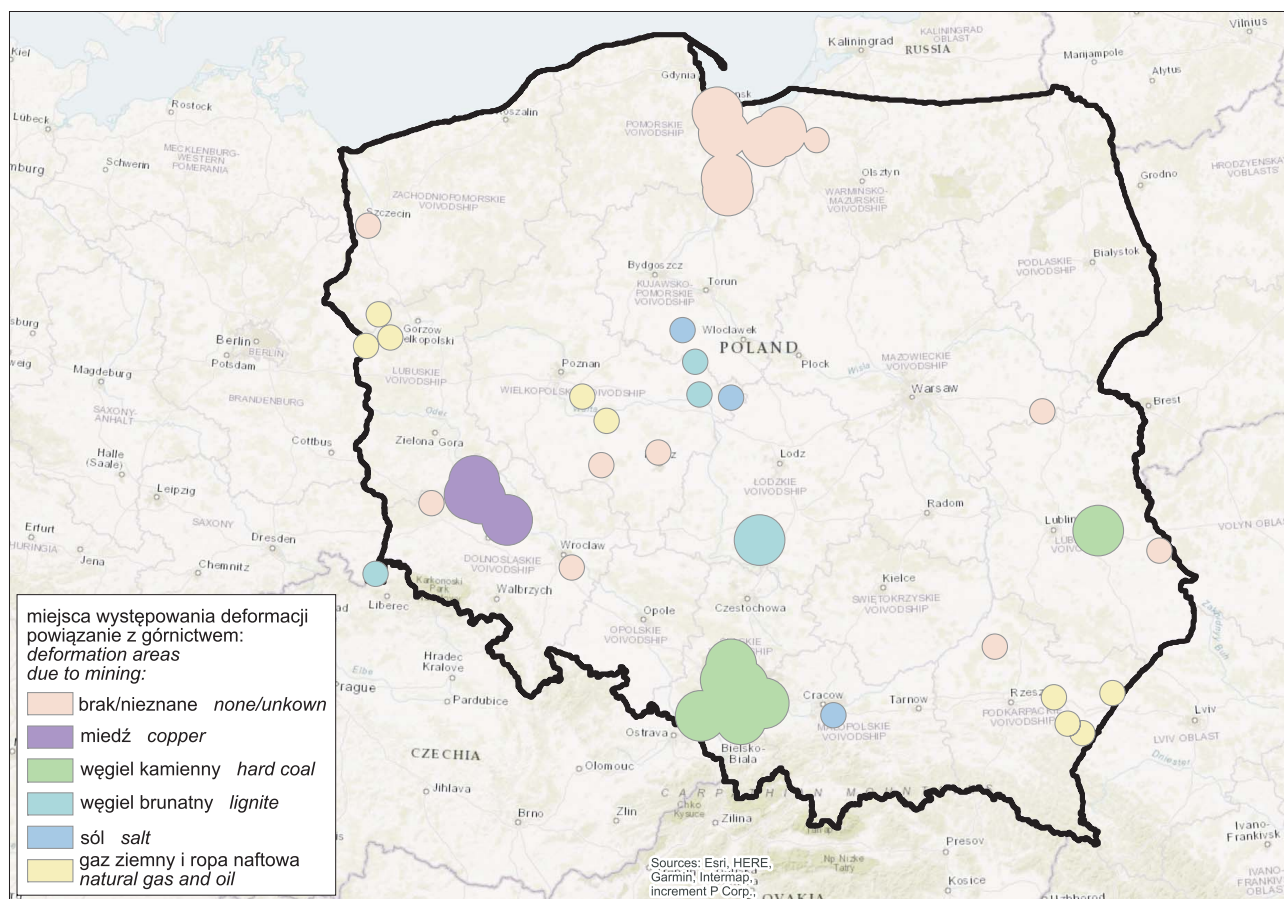
W 2022 r. zintensyfikowały się również zjawiska zapadliskowe w rejonie olkuskim. Wraz z szybko odbudowującym się poziomem wód podziemnych, związanym z zaprzestaniem ich odpompowywania po likwidacji kopalni *Olkusz-Pomorzany*, coraz częściej dochodziło do powstania zapadlisk, zwłaszcza w miejscach gdzie eksplo-



Ryc. 9. Zapis wstrząsu sejsmicznego (składowa pionowa) z 7.04.2022 r. o godzinie 16:58:46.6 UTC o magnitudzie M4.7 zarejestrowanego przez stacje sieci PSG_Sejs_NET w: Jemielnie (JEMI), Michałowie (MICH), Kijach (PG03), Błotnicy (PG10) i Płoszczynie (PLOS)
Fig. 9. The seismogram of event (vertical component): 07-Apr-2022 16:58:46.6 UTC (M4.7) recorded by the seismic station of PSG_Sejs_NET in: Jemielno (JEMI) and Michałów (MICH), Kije (PG03), Błotnica (PG10) and Płoszczyna (PLOS)



Ryc. 10. Warstwa współczesnych deformacji pionowych powierzchni terenu na terenie kraju pozyskana poprzez interpolację danych punktowych InSAR serwisu EGMS. Czarną obwiednią zaznaczono obszary, gdzie zarejestrowano najistotniejsze deformacje
Fig. 10. Alayer of contemporary vertical deformations of the terrain surface in the country obtained by interpolation of InSAR point data from the EGMS website. The black envelope marks the areas where the most significant deformations were recorded



Ryc. 11. Obszary występowania znaczących deformacji pionowych wyznaczone na podstawie danych InSAR serwisu EGMS
Fig. 11. Areas of significant vertical deformations determined on the basis of InSAR data from the EGMS website

atacja była prowadzona systemem „na zawal”. W 2022 r. w rejonie miejscowości Hutki (gmina Bolesław) doszło do reaktywacji jednego z największych znanych zapadlisk na tym obszarze, które pierwszy raz utworzyło się w 1982 r. Jak wskazują badania wykonane w sąsiedniej Trzebini, do uaktywnienia starych lejów zapadliskowych dochodzi stosunkowo często (Wojciechowski i in., 2023; Wódka i in., 2024). Pracownicy PIG-PIB prowadzą obecnie działania mające na celu kompleksową inwentaryzację deformacji pogórnich w rejonie bolesławsko-olkuskim.

Jednym z istotniejszych zapadlisk, które poddano badaniom w ramach prac PSG w 2022 r., była forma zapadliskowa powstała na osiedlu mieszkaniowym przy ul. Roi w Krakowie. W dniu rejestracji wymiary otworu leja zapadliskowego wynosiły $2,8 \times 3,4$ m, a głębokość – ok. 6,2 m. Zapadlisko uszkodziło chodnik oraz teren trawiasty w bezpośrednim sąsiedztwie bloku mieszkalnego. Lej zapadliskowy pogłębiał się w kierunku budynku. Po wykluczeniu potencjalnych przyczyn związanych z awarią sieci wodociągowej i przeanalizowaniu danych otworowych zarówno tych związanych z inwestycją, jak i sąsiednich otworów archiwalnych stwierdzono, że przyczyną rozwoju zapadliska mogło być wypłukiwanie gipsów lokalnie występujących w iłach i zapadanie kawern gipsowych. Jak wynika z archiwalnego otworu odwierconego ok. 70 m na NE od zapadliska, na głębokości od 5,6 m do 7,0 m występuje gips, którego w całości nie przewiercono (otwór rozpoczął się blisko 3 m poniżej rzędnej terenu, na którym wystąpiło zapadlisko). W związku z tym niewykluczone, że w rejonie bloku mieszkalnego na głębokości ok. 9 m

p.p.t., wśród miocenijskich iłów występuje soczewka gipsowa. Do przyczyn powstania zapadliska zaliczono też możliwość słabego zagęszczenia gruntów nasypowych.

Zdarzenia z 2022 r., zwłaszcza te z rejonu Trzebini, spowodowały wzrost świadomości w zakresie zapadlisk, czego skutkiem są coraz częstsze zgłoszenia tego typu deformacji z różnych części Polski. Zostaną one omówione w kolejnym artykule podsumowującym rok 2023.

PODSUMOWANIE

Rok 2022 w Polsce nie był wyjątkowy pod względem zagrożeń geologicznych. Rejestrowane i monitorowane zagrożenia były podobne do notowanych w latach poprzednich, nie występowały one na masową skalę. Najwięcej zniszczeń w Polsce spowodowały osuwiska, nie mniej jednak szczególną uwagę należy zwrócić na pojawiające się w 2022 r. zapadliska w Trzebini, które były początkiem olbrzymich problemów w roku następnym, związanych z płytką eksploatacją węgla kamiennego w rejonie oddziaływania dawnej KWK *Siersza*.

W 2022 r. zwiększyło się zaangażowanie starostów w kwestii sygnalizowania ruchów masowych ziemi, co jest związane jest z nowym Rozporządzeniem Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 4 grudnia 2020 r. w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi (Rozporządzenie, 2020). Aktywność ta dotyczy zarówno rozpoznania osuwisk w powiatach, gdzie do tej pory nie prowadzono rejestrów terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi i terenów, na którym one występują, jak i obserwacji osu-

wisk. Działalność tę należy ocenić pozytywnie z punktu widzenia strategii redukcji ryzyka osuwiskowego w Polsce.

Autorzy dziękują wszystkim współpracownikom za trud włożony w realizowane zadania w 2022 r., dzięki czemu udało się zebrać rzetelne dane, które mogły być opracowane. Dziękujemy również Panu Profesorowi Pawłowi Dobakowi za cenne uwagi w recenzji, które pozwoliły na udoskonalenie treści artykułu.

LITERATURA

- ALBRYCHT A., OŹGA A. 2022a – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, gm. Drwinia, pow. bocheński, woj. małopolskie. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- ALBRYCHT A., OŹGA A. 2022b – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, gm. Niepołomice, Kłaj, pow. wielicki, woj. małopolskie. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BIELAK M., RYCIO E., MALATA T. 2022 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, gm. miasto Sanok, pow. sanocki, woj. podkarpackie. Państw. Inst. Geol., Kraków.
- CHASZCZEWICZ A., BIEL A., GOŁDA M. 2022 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, gm. miasto Dynów, pow. rzeszowski, woj. podkarpackie. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- COSTANTINI M., MINATI F., TRILLO F., FERRETTI A., NOVALI F., PASSERA E., DEHLS J., LARSEN Y., MARINKOVIC P., EINEDER M., BRCIC R., SIEGMUND R., KOTZERKE P., PROBECK M., KENYERES A., PROIETTI S., SOLARI L., ANDERSEN H.S. 2021 – European ground motion service (EGMS). [W:] 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, 293–3296.
- CROSETTO M., MONSERRAT O., CUEVAS-GONZÁLEZ M., DEVANTHÉRY N., CRIPPA B. 2016 – Persistent scatterer interferometry: A review. *ISPRS J. Photogram. Remote Sensing*, 115: 78–89.
- CRUDEN D.M., VARNES D.J. 1996 – Landslide Types and Processes, Special Report, Transportation Research Board. *Nat. Acad. Sci.*, 247: 36–75.
- FROLIK A. 2006 – Aktualizacja prognozy zatapiania kopalni „Siersza”. *Wiad. Górn.*, 57 (11): 616–624.
<https://www.pgi.gov.pl/kartografia-4d/>
<https://www.pgi.gov.pl/monitoring-osiadan/o-projekcie.html>
- INSTITUTE of Physics of the Earth Masaryk University Brno (1996-): Seismic bulletins of IPEC. <https://doi.org/10.48790/XPBH-2A76>
- IS EPOS (2017), Epizod: LGCD, <https://tcs.ah-epos.eu/#episode:LGCD>, doi:10.25171/InstGeoph_PAS_ISEPOS-2017-007
- JANECZEK A., BALICKI L., MARCINIEC P., ZIMNAL Z. 2022 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, gm. Iwierzyce, pow. Ropczycko-sędziszowski, woj. podkarpackie. Państw. Inst. Geol., Kraków.
- KAMIENIARZ S., WÓDKA M., MARCINIEC P., BIEL A., GOŁDA M., JANECZEK A. 2022 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, gm. Czarna, pow. bieszczadzki, woj. podkarpackie. Państw. Inst. Geol., Kraków.
- KLETA H., PLEWA F., 2001 – Zagrożenie powierzchni terenu po zakończeniu wieloletniej eksploatacji górniczej na przykładzie kopalni „Siersza”. *Zesz. Nauk. Górnictwo*, 250: 141–151.
- KWECKO P., PARAFINIUK M., CHASZCZEWICZ A., RUDNICKI A. 2022 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, pow. olecki, woj. warmińsko-mazurskie. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MIĘTUS M. 2023 – Charakterystyka wybranych elementów klimatu w Polsce w 2022 roku – podsumowanie. Oprac. IMGW z dn. 31.01.2023 r. <https://www.imgw.pl/wydarzenia/charakterystyka-wybranych-elementow-klimatu-w-polsce-w-2022-roku-podsumowanie>
- PERSKI Z. 2019 – Zaawansowane techniki InSAR w monitorowaniu osuwisk. *Prz. Geol.*, 67: 351–359.
- POPIELSKI W., KURKOWSKI S. 2022a – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, pow. tarnowski (część pozakarpaska – gminy: Lisia Góra, Radłów, Wierzchosławice, Wietrzychowice, Żabno), woj. małopolskie. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- POPIELSKI W., KURKOWSKI S. 2022b – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, gm. Borzęcin, Szczurowa, pow. brzeski, woj. małopolskie. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 4 grudnia 2020 r. w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi. *Dz.U.* z 2020 r. poz. 2270.
- USTAWA z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze. *Dz.U.* z 2017 r. poz. 2126, z późn. zm.
- UŚCINOWICZ G. 2023 – Kartografia 4D w strefie brzegowej południowego Bałtyku – zadanie państwowej służby geologicznej. *Prz. Geol.*, 71 (3): 138–144.
- UŚCINOWICZ G., SZARAFIN T., PĄCZEK U., LIDZBARSKI M., TARNAWSKA E. 2021 – Geohazard assessment of the coastal zone – the case of the southern Baltic Sea. *Geol. Quart.*, 65: 5.
- WALICKA A., SIKORA R., RUDNICKI A., ZAJĄC M., MALATA T. 2022 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, gm. Bukowsko, pow. sanocki, woj. podkarpackie. Państw. Inst. Geol., Kraków.
- WARMUZ B., NESCIERUK P. 2019 – Dynamika przemieszczeń wybranych osuwisk w Karpatach. *Prz. Geol.*, 67 (5): 326–331.
- WISZNIOWSKI J., PLESIEWICZ B., HOLECZEK G. 2021 – Zastosowanie oprogramowania SWIP5 do analizy zagrożenia sejsmicznego w kopalniach. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, 5: 2–6.
- WOJCIECHOWSKI T., JURECZKA J., WÓDKA M., KAMIENIARZ S., KARWACKI K., PERSKI Z., SIKORA R., NADŁONEK W., ROLKA M., KRIEGER W., MAŚLANKA R., ZAJĄC M., PRZYŁUCKA M., STRZEMIŃSKA K., NESCIERUK P., KOS J. 2023 – Raport trzeci z prac analitycznych o deformacjach terenu w Trzebini. Państw. Inst. Geol., Warszawa. <https://www.pgi.gov.pl/zapadliska>
- WOJCIECHOWSKI T., LASKOWICZ I., NESCIERUK P., MARCINIEC P., UŚCINOWICZ G., CZERWIŃSKI T., PERSKI Z. 2021 – Zagrożenia geologiczne w Polsce w 2020 roku. *Prz. Geol.*, 69 (5): 303–311.
- WOJCIECHOWSKI T., LASKOWICZ I., KOS J., MARCINIEC P., UŚCINOWICZ G., KARKOWSKA K., PRZYŁUCKA M., WÓDKA M., 2022 – Zagrożenia geologiczne w Polsce w 2021 roku. *Prz. Geol.*, 70 (9): 617–626.
- WÓDKA M., KAMIENIARZ S., WOJCIECHOWSKI T., PRZYŁUCKA M., PERSKI Z., SIKORA R., KARWACKI K., JURECZKA J., NADŁONEK W., KRIEGER W., ZAJĄC M. 2024 – Post-mining deformations in the area affected by the former „Siersza” Hard Coal Mine in Trzebinia (southern Poland). *Geol. Quar.*, 68: 3.
- ZIMNAL Z., JANECZEK A., MARCINIEC P., ZAJĄC M. 2022 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, gm. Lesko, pow. leski, woj. podkarpackie. Państw. Inst. Geol., Kraków.

Praca wpłynęła do redakcji 26.07.2024 r.

Akceptowano do druku 3.09.2024 r.