


ARTYKUŁY INFORMACYJNE
Zagrożenia geologiczne w Polsce w 2020 roku
**Tomasz Wojciechowski¹, Izabela Laskowicz², Piotr Nescieruk¹, Paweł Marciniak¹,
Grzegorz Uścińowicz³, Tomasz Czerwiński⁴, Zbigniew Perski¹**


T. Wojciechowski I. Laskowicz P. Nescieruk P. Marciniak G. Uścińowicz T. Czerwiński Z. Perski

Geohazards in Poland in 2020. *Prz. Geol.*, 69: 303–311.

Abstract. The paper describes geohazard events that took place in 2020 on the territory of Poland. The PGI is responsible for geohazard monitoring in four areas of interest: landslides and mass movements within the Landslide Counteracting System (LCS, SOPO in Polish), earthquakes within the Geodynamical Monitoring of Poland and ground motions within the Interferometric Terrain Deformations Monitoring of Poland, and coastal monitoring carried out by the Marine Geology Branch within a framework of the 4D Cartography. In 2020, there were no spectacular geohazard events; however, there were some permanently active phenomena, mostly landslides, which caused significant damages to the infrastructure.

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

Zagrożenia geologiczne są związane z procesami geodynamicznymi zachodzącymi w litosferze i przejawiają się zjawiskami zmieniającymi stabilność powierzchni terenu, co negatywnie wpływa na istniejącą zabudowę i stwarza ryzyko dla ewentualnie planowanych inwestycji. Istnieje wiele klasyfikacji geozagrożeń (Palmer, 2003; Graniczny, Mizerski, 2007). Niemal każda z nich dzieli je na egzogeniczne, spośród których najczęściej wymienia się trzęsienia ziemi, erupcje wulkaniczne oraz ruchy masowe. W Polsce największy problem jest związany z osuwiskami, wstrząsami sejsmicznymi, erozją, abrazją, a także z obniżaniem i podnoszeniem powierzchni terenu (Wójcik, Wojciechowski, 2016). Świadomość społeczna w tym zakresie jest niska, a uwaga koncentruje się na tych problemach tylko w przypadku katastrof *medialnych* lub gdy sprawa bezpośrednio dotyczy zainteresowanych. Jednak zagrożenia geologiczne są niestety stałym elementem życia, również w Polsce.

Jednym z ustawowych zadań państwowej służby geologicznej (PSG), którą pełni Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB), jest rozpoznanie i monitorowanie zagrożeń geologicznych

(Ustawa, 2011). Zadanie to realizowane jest w Centrum Geozagrożeń PIG-PIB, poprzez prowadzenie *Systemu Osłony Przeciwosuwiskowej (SOPO), Monitoringu geodynamicznego Polski i Interferometrycznego monitoringu powierzchni terenu Polski (InMoTeP)* oraz w Oddziale Geologii Morza, który wykonuje projekt *Kartografia 4D w strefie brzegowej południowego Bałtyku*. W ramach tych zadań są rozpoznawane i obserwowane ruchy masowe (również w trybie interwencyjnym), monitorowana jest sejsmiczność obszaru Polski, a także mierzone są deformacje powierzchni terenu z pułapu satelitarnego. Zadania PSG w tym zakresie są finansowane przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW).

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie stanu wiedzy na temat geozagrożeń stwierdzonych w roku 2020 w Polsce, z punktu widzenia realizacji zadań PSG.

AKTYWNOŚĆ OSUWISK W ROKU 2020

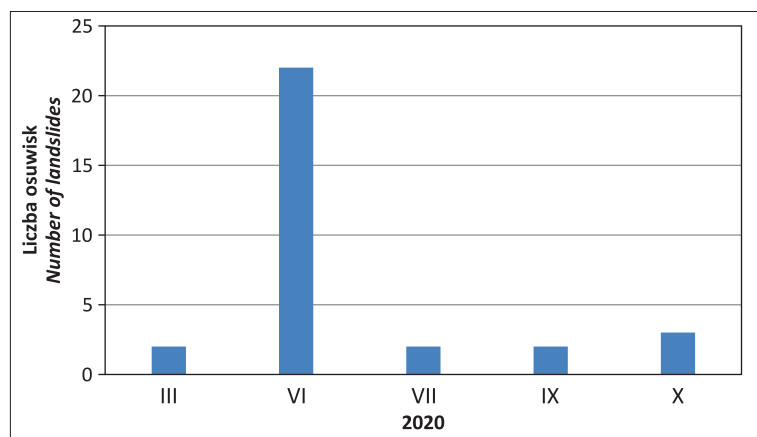
Głównym czynnikiem uaktywniającym obecnie osuwiska w Polsce są opady atmosferyczne (Ziętara, 1968; Gil, Starkel, 1979; Zabuski i in., 1999; Rączkowski, Mrozek,

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Centrum Geozagrożeń, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków; twoj@pgi.gov.pl

² Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków; ilas@pgi.gov.pl

³ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Geologii Morza, ul. Kościarska 5, 80-328 Gdańsk; gusc@pgi.gov.pl

⁴ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Centrum Geozagrożeń, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; tczer@pgi.gov.pl



Ryc. 1. Zgłoszenia uaktywnień osuwisk w 2020 r.

Fig. 1. Reports of activation of landslides in 2020

2002; Poprawa, Rączkowski, 2003; Pyrc, 2020). Rok 2020 nie wyróżniał się ponadprzeciętnymi opadami, choć zgodnie z badaniami Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB (IMGW) wiosna należała do okresów o ekstremalnie wysokiej wilgotności warstw glebowych, szczególnie na obszarze zachodnich i wschodnich Karpat, a było to spowodowane wyjątkowo wysokimi (stanowiącymi ponad 200% normy) opadami w lutym (Pyrc, 2020). Zgodnie z prawidłowością obserwowaną w naszej strefie klimatycznej odnotowano zwiększone w stosunku do całego

roku opady w dwóch okresach – na przełomie wiosny i lata oraz jesienią. W strefie największych opadów znalazła się południowa część Polski, czyli najbardziej zagrożona ruchami masowymi część naszego kraju (Kleczkowski, 1955). Według danych IMGW na niektórych stacjach pomiarowych zlokalizowanych w Karpatach w ostatnich dniach czerwca notowano sumy opadów przekraczające 200 mm tygodniowo, a opady dobowe w wielu miejscach wynosiły nawet ponad 150 mm (np. w Jodłowniku w województwie małopolskim). Były to opady ciągle, okresowo ulewne i nawalne, co spowodowało znaczny wzrost wilgotności gleby w rejonie Beskidu Wyspowego, Bieszczad, Pogórza Ciężkowickiego, Strzyżowskiego i Dynowskiego (Pyrc, 2020). W październiku, w strefie opadów, których sumy z 7 dni przekraczały 100 mm,

znalazł się rejon Karpat Zachodnich – od linii Pilzna i Jasła po granice z Czechami (hydro.imgw.pl). Podwyższoną aktywność osuwisk obserwowano również w rejonie województwa dolnośląskiego, gdzie średnia suma opadów w 2020 r. była większa od normy w zakresie 110–130% (Ustrnul in., 2021).

Opady atmosferyczne z przełomu wiosny i lata sprzyjały uaktywnieniu głównie osuwisk płytkich, zwietrzelinowych lub obejmujących osady słabo zlitfikowane i homogeniczne. W sytuacjach wydłużania się czasu trwania



Ryc. 2. Osuwisko w Pcimiu. Fot. J. Kos

Fig. 2. Landslide in Pcim. Photo by J. Kos

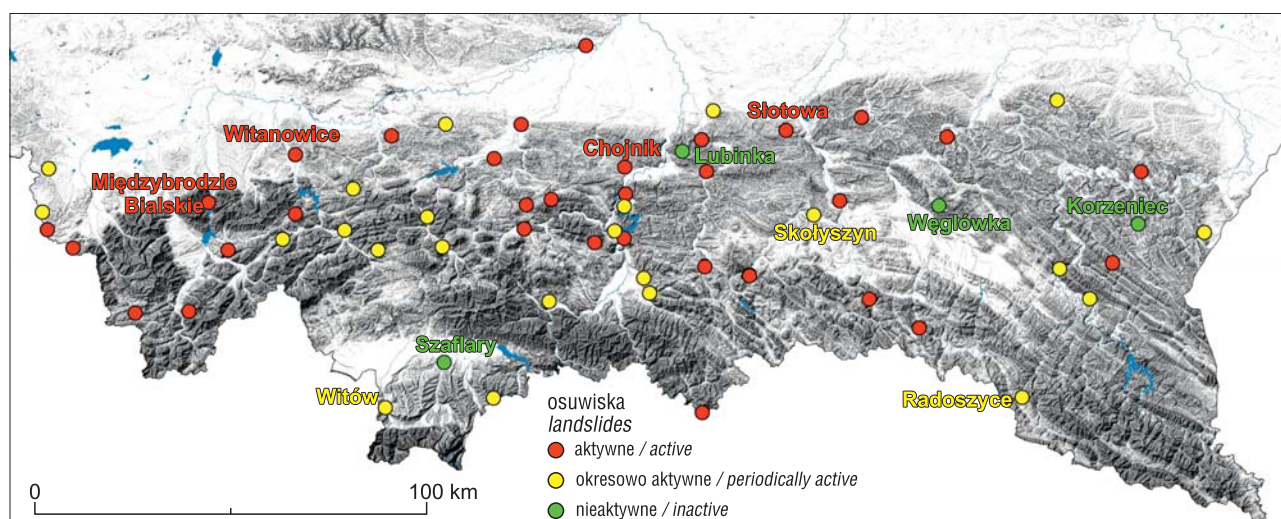
opadów wzrastało zagrożenie uruchomienia osuwisk głębokich (Gil, Starkel, 1979). Jesienią natomiast sytuacja wyglądała inaczej, gdyż opady były mniej intensywne, ale stosunkowo długotrwałe i można się było spodziewać uruchomienia osuwisk o głębiej położonej powierzchni poślizgu. W obydwu okresach notowano uruchomienia osuwisk (ryc. 1), które spowodowały najpoważniejsze w tym roku szkody, głównie w infrastrukturze drogowej oraz budynkach mieszkalnych (tab. 1). W roku 2020 zgłoszono do PIG-PIB łącznie 35 uruchomień osuwisk (ryc. 1), najwięcej w województwie małopolskim, w powiecie myślenickim (tab. 1). Należy tu wyraźnie zaznaczyć, że niestety nie każde zdarzenie osuwiskowe jest zgłaszane organom administracji samorządowej czy też PIG-PIB. Można

przyjąć, że w 2020 r. w Polsce miało miejsce więcej osunień, być może powodujących straty materialne.

Skala zniszczeń wywołanych osuwiskami uruchomionymi w 2020 r. jest bardzo zróżnicowana i o zmiennym stopniu uciążliwości dla mieszkańców. Obserwowano uszkodzenia budynków mieszkalnych począwszy od zasypiania koluwiemi (Pcim; ryc. 2) po spękanie ścian (Dydnia). Uszkodzenia posesji najczęściej przejawiały się zniszczeniem ogrodzeń i deformacjami gruntu. W skrajnych przypadkach deformacje były na tyle znaczne, że całkowicie uniemożliwiają dalsze użytkowanie fragmentu działki, czego przykładem jest osuwisko w Birczy, gdzie część posesji osunęła się aż do dna doliny. Ponadto powstałe osuwiska stanowią zagrożenie dla obiektów znajdujących się w nie-

Tab. 1. Zgłoszone przez jednostki administracji publicznej osuwiska w których zaobserwowano uruchomienie w 2020 r.
Table 1. Landslides reported by public administration in which activation was observed in 2020

Województwo <i>Province</i>	Powiat <i>County</i>	Gmina <i>Commune</i>	Liczba osuwisk <i>Number of landslides</i>	Uszkodzenia <i>Damages</i>	Okres występowania opadów poprzedzające uruchomienie <i>Period of rainfall occurrence prior to activation</i>	Uruchomienie <i>Activation</i>
małopolskie	suski	Sucha Beskidzka	1	budynek gospodarczy, słup energetyczny, posesja <i>farm building, power pole, property</i>	II 2020	24 III 2020
	krakowski	Kocmyrzów-Luborzycza	1	ogrodzenie, posesja <i>fence, property</i>	V/VI 2020	VI 2020
	nowosądecki	Grybów (ryc. 3 – patrz str. 266 / Fig. 3 – see p. 266)	1	ogrodzenie, budynki użyteczności publicznej, posesja, infrastruktura przesyłowa <i>fence, public buildings, property, transmission infrastructure</i>	II 2020	III 2020
		Muszyna	1	posesja <i>property</i>	V/VI 2020	VI 2020
	myślenicki	Pcim	10	domy mieszkalne, budynki gospodarcze, droga <i>residential houses, farm buildings, road</i>	V/VI 2020	VI 2020
		Dobczyce	1	skansen open-air museum <i>open-air museum</i>	V/VI 2020	18 VII 2020
	tatrzański	Biały Dunajec	1	droga <i>road</i>	V/VI 2020	VI 2020
	limanowski	Jodłownik	3	ogrodzenie, słup energetyczny <i>fence, power pole</i>	V/VI 2020	21 VI 2020
	wadowicki	Kalwaria Zebrzydowska (ryc. 4 – patrz str. 266 / Fig. 4 – see p. 266)	2	droga <i>road</i>	X 2020	X 2020
podkarpackie	brzozowski	Dydnia	1	posesja <i>property</i>	V/VI 2020	22 VI 2020
	bieszczadzki	Ustrzyki Dolne	1	budynek mieszkalny <i>residential houses</i>	V/VI 2020	3 VII 2020
	strzyżowski	Niebylec	1	posesja, ogrodzenie, budynek gospodarczy <i>property, fence, farm building</i>	V/VI 2020	8 VI 2020
	rzeszowski	Dynów	2	studnia <i>well</i>	V/VI 2020	VI 2020
	przemyski	Bircza	4	posesje, domy mieszkalne <i>property, residential houses</i>	V/VI 2020	VI 2020
dolnośląskie	wałbrzyski	Stare Bogaczowice	1	posesja <i>property</i>	2020	17 IX 2020
		Boguszów Gorc	1	posesja <i>property</i>	2020	IX 2020
śląskie	Bielsko-Biała	Bielsko-Biała (ryc. 5 – patrz str. 266 / Fig. 5 – see p. 266)	2	infrastruktura drogowa, gazociąg <i>road infrastructure, gas pipeline</i>	V/VI 2020 X 2020	VI 2020 14 X 2020



Ryc. 6. Aktywność osuwisk monitorowanych w ramach SOPO w 2020 r.

Fig. 6. Activity of landslides monitored by LCS (Landslide Counteracting System) in 2020

wielkiej odległości od osunięcia, czego przykładem są osuwiska w Dydni i Peimiu.

Stopień zniszczenia dróg był na tyle mały, że nie powodował konieczności czasowego zamknięcia przejazdu, z wyjątkiem lokalnej drogi w Białym Dunajcu. Chociaż najczęściej osuwisk uruchomiło się w czerwcu, to do niebezpiecznego zdarzenia doszło już w marcu w Grybowie (pow. nowosądecki, ryc. 3 – patrz str. 266) w sąsiedztwie budynku *Caritasu*. Naruszona została konstrukcja budynku, a poważnemu uszkodzeniu uległy sieci: kanalizacyjna, wodociągowa i elektroenergetyczna. Choć jest to niewielka forma osuwiskowa, to jednak ze względu na ukształtowanie terenu oraz jego zagospodarowanie stwarzała ona duże zagrożenie i wymagała szybkiego zabezpieczenia.

Powody uruchomienia większości osuwisk należy przypisać czynnikom naturalnym, jednakże w co najmniej kilku przypadkach nałożyły się one na uwarunkowania antropogeniczne (znaczne przekształcenie terenu), jak to miało miejsce w przypadku Grybowia (ryc. 3 – patrz str. 266) czy Bielska-Białej (ryc. 5 – patrz str. 266).

WYNIKI MONITORINGU OSUWISK

Bardzo duża część ruchów masowych w Polsce, liczona zapewne w tysiącach, w 2020 r. była aktywna. Aktywność osuwisk nie zawsze przejawia się uszkodzeniami czy też zniszczeniami obiektów budowlanych. W przeważającej ilości są to osuwiska ekstremalnie powolne (*sensu*: Cruden, Varnes, 1996), których dynamiki nie można zauważyć bez odpowiednich instrumentów pomiarowych. Jeśli istnieje obawa, że mogą one powodować zagrożenie dla infrastruktury, to prowadzi się ich monitoring. W Polsce monitoruje się osuwiska w wyrobiskach zakładów górniczych, hałdach, w ramach inwestycji liniowych, ale przede wszystkim ustawowego obowiązku prowadzenia przez starostów obserwacji ruchów masowych (Ustawa, 2001). Częściowe wsparcie w tym zakresie starości otrzymują od PIG-PIB, które w ramach SOPO w 2020 r. monitorowało 60 osuwisk (ryc. 6).

Podstawowymi badaniami w obserwacji osuwisk jest prowadzenie monitoringu powierzchniowego na podstawie pomiarów GNSS (Perski i in., 2013) i naziemnego skaningu laserowego (NSL; Perski i in., 2019) za pomocą

satelitarnej interferometrii radarowej (Perski, 2019). Pomiarzy te są częściowo uzupełniane fotogeodezyjnymi pomiarami z wykorzystaniem dronów (Karwacki, 2019). Monitoring wykonywany w ramach SOPO obejmuje również pomiary wgłębne, prowadzone na podstawie cyklicznych pomiarów inklinometrycznych i stałych obserwacji ekstensometrycznych i ciśnienia porowego, wykonanych w otworach zlokalizowanych w obrębie osuwisk (Warmuz, Nescieruk, 2019). Uzyskane wyniki pozwalają na określenie dynamiki wgłębnej i powierzchniowej osuwiska oraz rzeczywistej głębokości i wielkości przemieszczeń. Badania uzupełniają monitoring hydrogeologiczny i hydrologiczny. Analizie poddaje się tu zmiany poziomu zwierciadła wód gruntowych w koluwiach osuwiskowych w odniesieniu do obserwacji hydrologicznych (opadowych), co pozwala na określenie *czasu reakcji* poziomu wód gruntowych na impulsy opadowe. Cecha ta jest indywidualną właściwością każdego osuwiska.

Pomiary przeprowadzone w 2020 r. w ramach SOPO wykazały, że z 60 monitorowanych osuwisk 33 są aktywne (ryc. 6). Najbardziej niebezpieczna sytuacja wydaje się występować na osuwiskach w Chojniku, Słotowej i Witanowicach (ryc. 6). W pierwszej z tych miejscowości zagrożenie dotyczy budynku szkoły podstawowej zlokalizowanego w dolnej części osuwiska, którego tempo przemieszczeń na głębokości 13,0 m wyniosło w 2020 r. aż 33 mm. Podobne, jednostajne tempo przemieszczeń (32 mm/rok) odnotowujemy na osuwisku w Słotowej, gdzie zagrożonych zniszczeniem jest 8 budynków mieszkalnych i gospodarczych oraz fragment drogi powiatowej. Nieco odmienna sytuacja występuje w Witanowicach – w 2018 r. po roztopach wiosennych doszło tam do ponownego uruchomienia osuwiska w strefie zabudowy mieszkalnej, na gł. 25 m (przemieszczenie o 380 mm), a w 2020 r. odnotowywano ruch o prędkości 50 mm/rok. W obrębie 23 osuwisk okresowo aktywnych (ryc. 6) w ostatnim roku nie stwierdzono przemieszczeń koluwiów (np. Witów, Skolyszyn, Radoszyce; ryc. 6). Ponadto pomiary przeprowadzone w 2020 r. potwierdzają brak aktywności czterech osuwisk (Węglówka, Lubinka, Szaflary, Korzeniec; ryc. 6), które w ostatnich latach zostały ustabilizowane poprzez wykonanie robót geoinżynierskich.

Obecnie na osuwisku w Międzybrodziu Bialskim – Łaskach (ryc. 6) jest testowany system ciągłej obserwacji osuwisk z przesyłem on-line danych pomiarowych (Perski i in., 2019). Oparty jest on na pomiarach ciągłych w zastabilizowanych odbiornikach GNSS, pięciostopniowych ekstensometrach, czujnikach ciśnienia porowego, piezometrach i stacji meteo. Uzupełniającymi pomiarami są tu obserwacje inklinometryczne, tachimetryczne i analizy różnicowe danych pochodzących z naziemnego skaningu laserowego. W 2020 r. przemieszczenia odnotowane na tym osuwisku – choć nie tak dynamiczne jak w latach 2010/2011 – potwierdzają ciągłą jego aktywność, zwłaszcza w obrębie głębszych powierzchni poślizgu (26; 37 m p.p.t.).

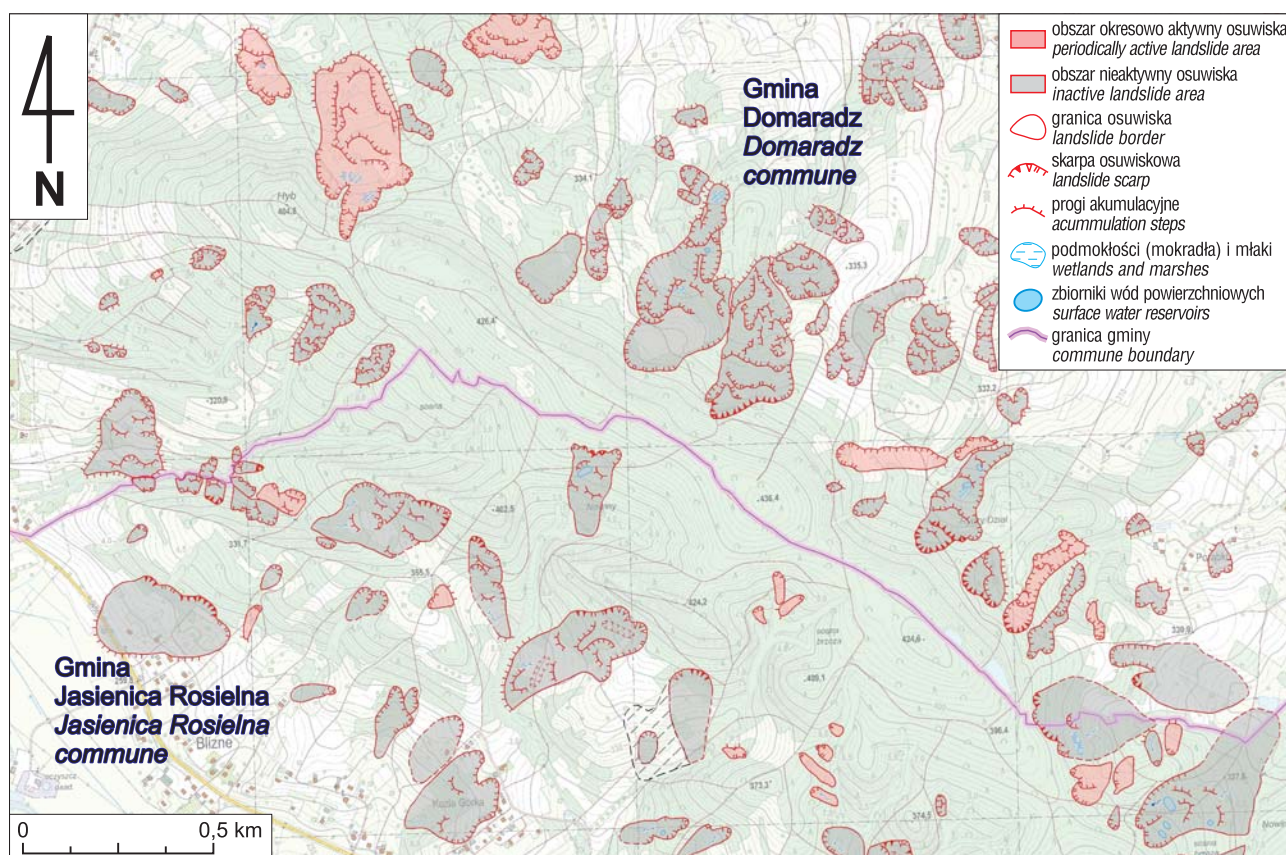
ROZPOZNANIE OSUWISK

Podstawą redukcji ryzyka osuwiskowego jest wiedza o występowaniu przejawów ruchów masowych współczesnych i historycznych (Zaruba, Mencil, 1982). W tym celu są wykonywane *Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000 (MOTZ)* dla gmin i powiatów. Są one sukcesywnie przekazywane jednostkom administracji samorządowej na potrzeby prowadzenia gospodarki przestrzennej. MOTZ są sporządzane zarówno w ramach SOPO, wg harmonogramu wynikającego z umowy na realizację tego zadania, jak i na zlecenia jednostek administracji samorządowej. Osuwiska zawsze wyznacza się poprzez terenowe kartowanie geologiczne, a wyniki tych prac ujęte są na podkładach topograficznych i szczegółowo opisane w kartach rejestracyjnych. W każdym

przypadku przed wprowadzeniem do bazy danych SOPO, w celu zachowania jednolitego standardu danych, cały materiał jest weryfikowany przez PIG-PIB zarówno terenowo, jak i kameralnie.

W 2020 r. MOTZ była wykonywana na obszarze 24 gmin karpaccich (województwo podkarpackie) i 19 powiatów pozakarpaccich (na terenie 10 województw). Przy czym dla 10 powiatów pozakarpaccich MOTZ zrealizowano dla wszystkich gmin na ich obszarze, a na terenie pozostałych 9 powiatów w 2020 r. prace zostały zakończone dla 23 gmin znajdujących się w ich obrębie.

Najwięcej osuwisk rozpoznano w gminach położonych na obszarze Karpat i zapadliska przedkarpacciego, czego przykładem są gminy Domaradz (Kwecko i in., 2020) i Jasienica Rosielna (Kaczorowski i in., 2020), gdzie stwierdzono odpowiednio 643 i 201 osuwisk (fragment MOTZ dla tych gmin zaprezentowano na rycinie 7) oraz Kańczuga (Dąbrowski i in., 2020), gdzie stwierdzono 672 osuwiska. Obszary w Karpatach, dla których opracowano MOTZ w 2020 r., charakteryzują się wysokim i bardzo wysokim wskaźnikiem gęstości osuwiskowej G sensu Bober (1984), wynoszącym od kilku do kilkunastu osuwisk/km². Średnia gęstość osuwisk na km² w rozpoznanych dotąd obszarach karpaccich wyniosła 4,8, przy czym jest znacznie zróżnicowana i waha się od 0,16 osuwiska/km² w gminie Gać (Koluch i in., 2020a) do 11,34 osuwiska/km² w gminie Domaradz (Kwecko i in., 2020). Znacznie mniejsza gęstość osuwisk jest na terenach pozakarpaccich, gdzie wskaźnik G nie przekracza z reguły 0,15 osuwiska/km². Wyjątek stanowią gmina wiejska i miasto Kętrzyn w powiecie kętrzyń-



Ryc. 7. Fragment *Mapy osuwisk i terenów zagrożonych* na granicy gmin Domaradz (Kwecko i in., 2020) i Jasienica Rosielna (Kaczorowski i in., 2020)

Fig. 7. Part of the *Map of landslides and endangered areas* on the border of the Domaradz (Kwecko et al., 2020) and Jasienica Rosielna (Kaczorowski et al., 2020) communes

skim (Cybulska, Ozimkowski, 2020), gdzie jest ona nieco większa i wynosi 0,54 osuwiska/km², miasto Pisz w powiecie piskim (Cybulska, 2020) – 0,9 osuwiska/km², oraz powiat łańcucki (Koluch i in., 2020b) – 0,6 osuwiska/km².

Prace związane z MOTZ realizowane w 2020 r. umożliwiły rozpoznanie i zinwentaryzowanie ponad 3550 osuwisk i 510 terenów nimi zagrożonych. Wykonywanie części map będzie kontynuowane w 2021 r. Ze względu na zagrożenie dla mienia, zdrowia i życia mieszkańców jednostki samorządowe powinny liczyć się z tym, że spośród wszystkich zarejestrowanych jak dotąd w Polsce osuwisk aż 13% stanowią osuwiska *istotne* (Marciniec, Zimnal, 2015), czyli takie na których znajdują się elementy infrastruktury (zabudowa, drogi, linie przesyłowe).

STREFA BRZEGOWA BAŁTYKU

Podczas realizacji zadań PSG w ostatnich latach zidentyfikowano szereg potencjalnych i rzeczywistych zagrożeń na polskim wybrzeżu (Uścińowicz i in., 2021). Można je podzielić na kilka kategorii – erozja brzegu (rozumiana jako trwałe zmiany położenia linii brzegowej), osuwiska w obrębie wybrzeży klifowych, przerwanie pasa wydmy i zalania nisko położonych obszarów czy erozja dna morskiego. Zagrożenia te są podobne w regionach przybrzeżnych na całym świecie, gdzie duża presja inwestycyjna współwystępuje z oddziaływaniem siły natury. W celu ograniczenia ryzyka konieczne jest odpowiednie podejście metodologiczne w przyjętych badaniach specjalistycznych.

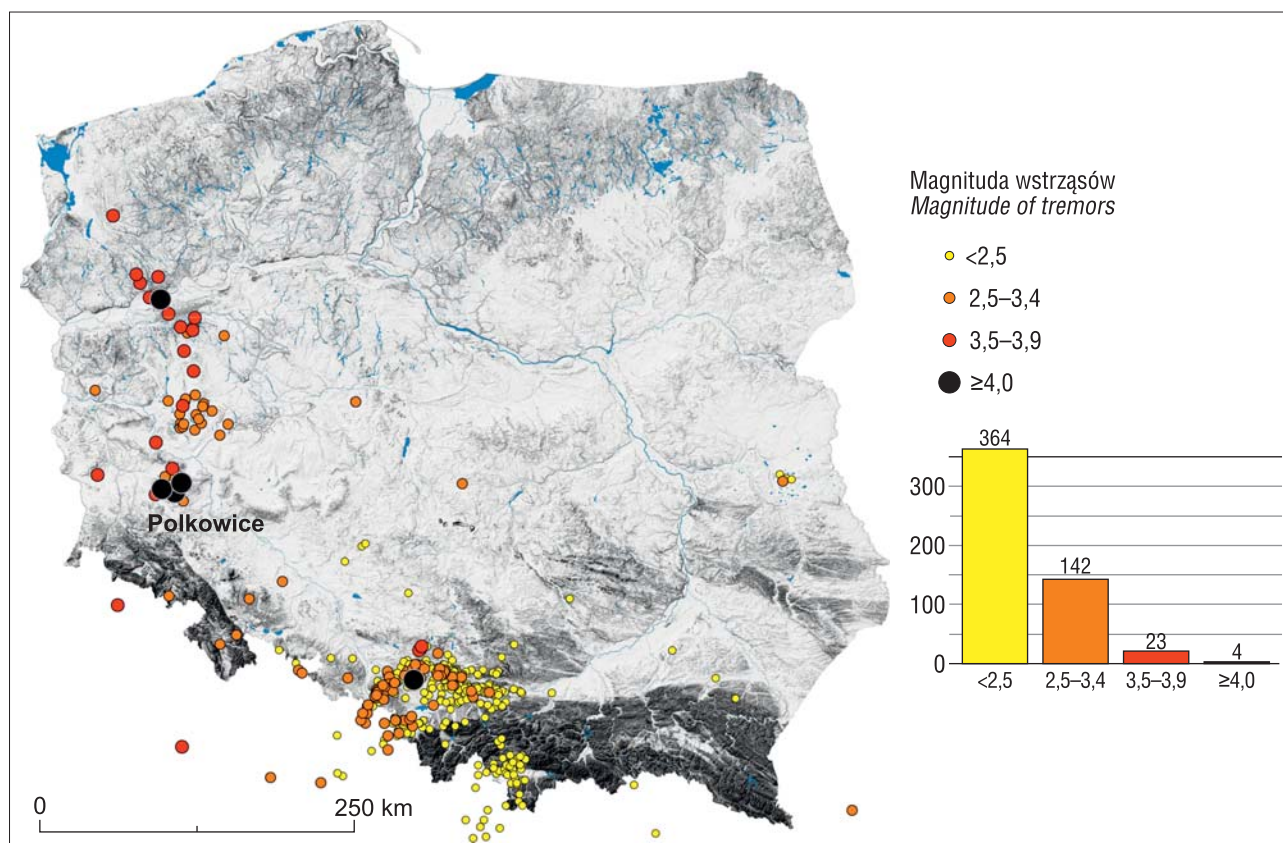
Pomimo że 2020 rok nie przyniósł spektakularnych i wyjątkowo medialnych zjawisk na polskim wybrzeżu, to należy mieć świadomość, że wymienione powyżej procesy

mają charakter ciągły. To oznacza, że oddziałują stale, a jedynie okresowa ich intensywność przybiera na sile w sposób skupiający uwagę szerszego odbiorcy. Jednak *codzienne* przykłady wzajemnych relacji na linii ląd–morze są widoczne gołym okiem. Dobrym tego przykładem jest rejon rezerwatu przyrody *Widowo* położonego w województwie pomorskim, pomiędzy miejscowościami Karwia i Dębki. Jest to miejsce, gdzie od przynajmniej kilkunastu lat można obserwować skutki systematycznej, intensywnej erozji morskiej, której poddawane są nawet stosunkowo wysokie, dochodzące do 19 m wysokości, wydmy (ryc. 8 – patrz str. 266). Efektem tej erozji jest cofnięcie się linii brzegowej i redukcja szerokości pasa plaży o kilkadziesiąt metrów.

WSTRZĄSY SEJSMICZNE

Polska jest uważana za kraj o niskiej sejsmiczności, gdzie nie występują katastrofalne w skutkach trzęsienia ziemi (Guterch, 2009). Niemniej jednak wstrząsy sejsmiczne w Polsce mają miejsce i są one zarówno naturalne, jak i indukowane działalnością górniczą. Jak pokazują dane historyczne, trzęsienia ziemi w Polsce nie są silne i bardzo rzadko miały magnitudę większą od 5 (Pagaczewski, 1972; Guterch, 2009). Związane jest to z faktem, że epicentra dużych trzęsień są zlokalizowane poza granicami Polski (Guterch, 2009).

Aktywność sejsmiczna obszaru Polski jest obserwowana w ramach zadań PSG, przy użyciu sieci monitoringu sejsmicznego PSG_Sejs_NET. Swoim zasięgiem sieć umożliwia monitoring sejsmologiczny na obszarze całego kraju, z uwzględnieniem stref przygranicznych krajów ościen-



Ryc. 9. Lokalizacja wstrząsów sejsmicznych w 2020 r.
Fig. 9. Location of earthquakes epicenters in 2020

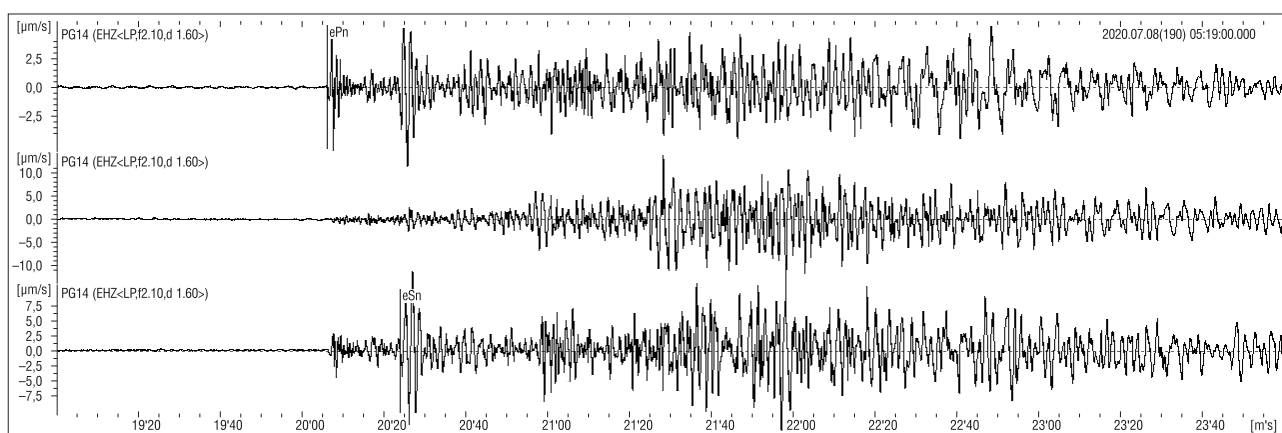
nych. Aktualnie sieć monitoringu sejsmicznego PSG tworzy zintegrowany system 40 stacji sejsmicznych, z czego w sieci funkcjonuje: 15 mobilnych i 2 stałe stacje sejsmiczne będące własnością państwowej służby geologicznej oraz 23 krótkookresowe stacje seismologiczne należące do Instytutu Geofizyki (IGF) PAN.

W 2020 r. zarejestrowano i zweryfikowano 534 zdarzenia sejsmiczne (ryc. 9), z czego odczuwalnych przez człowieka o magnitudzie $M \geq 2,5$ było 169 (ryc. 9). Zdecydowana większość wstrząsów była indukowana działalnością górniczą, w tym głównie w rejonach Górnos Śląskiego Zagłębia Węglowego (GZW), Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM) oraz Lubelskiego Zagłębia Węglowego (LZW). Najwięcej naturalnych wstrząsów miało miejsce na Podhalu. Najsilniejsze zjawisko sejsmiczne odnotowano w dniu 8 lipca 2020 r. z epicentrum wstrząsu w rejonie miejscowości Polkowice (LGOM; ryc. 9, 10). Wstrząs nastąpił o godzinie 07:18 czasu lokalnego.

W momencie detekcji wstrząsu w sieci PSG jego magnituda została oceniona na wielkość $M = 4,6$, zaś po reprocessingu danych i korekcie na $M = 4,9$. Fragment sejsmogramu zarejestrowanego na stacji Hołowno z zapisem obrazu falowego tego wydarzenia zaprezentowano na rycinie 10.

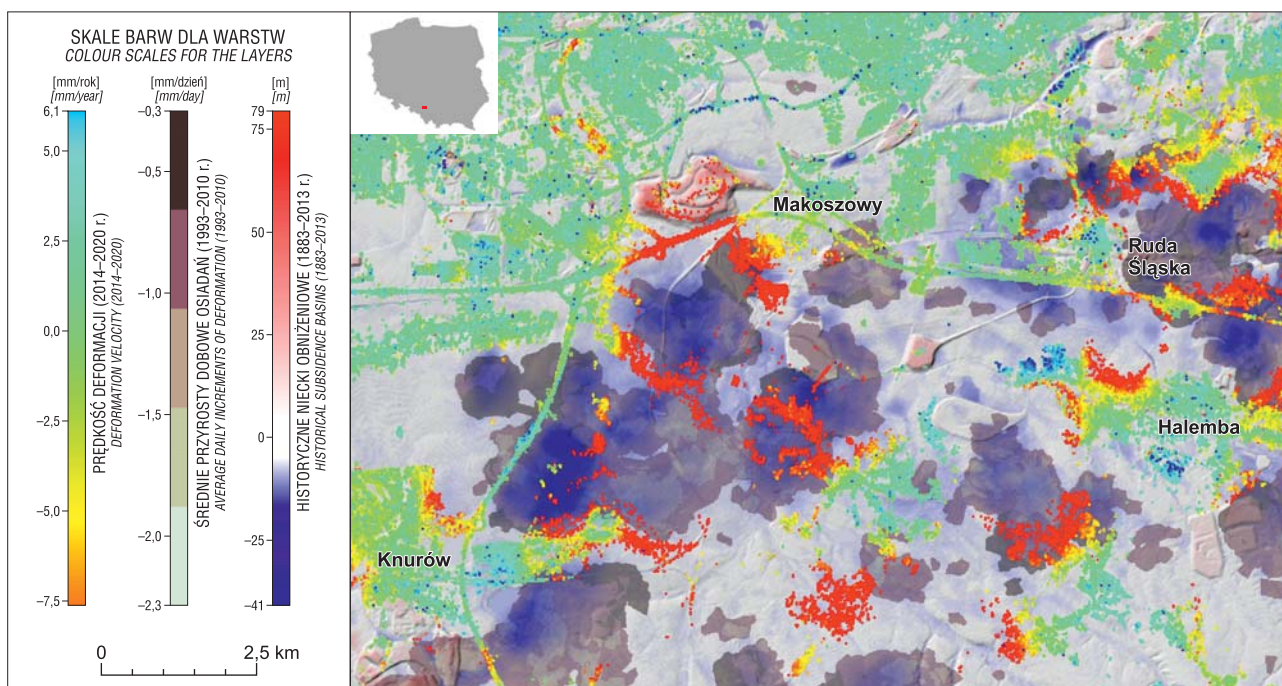
DEFORMACJE POWIERZCHNI TERENU

Na obszarze Polski w wielu regionach zachodzą deformacje powierzchni terenu obejmujące przede wszystkim ruchy obniżające (osiadania). Najpowszechniej występują one na obszarach podziemnego wydobywania surowców, gdzie osiągają największą dynamikę. W ramach projektu InMoTeP (Interferometryczny Monitoring Terenu Polski) PIG-PIB prowadzi analizy deformacji powierzchni terenu Polski metodą satelitarnej interferometrii radarowej (Perski, 2019). Obecnie wykorzystywane są dane radarowe SAR z satelity Sentinel-1 i jak dotąd przeliczono łącznie



Ryc. 10. Zapis wstrząsu sejsmicznego z dnia 8.07.2020 r., godz. 05:18:59.7 (UTC) o magnitudzie $M = 4,9$, zarejestrowanego na stacji seismologicznej w Hołowni (PG14 - HOLO) w sieci PSG_Sejs_NET

Fig. 10. The record of seismic event of 08-July-2020 05:18:59.7 (UTC) of 4.9 magnitude recorded by the seismic station in Hołownia (PG14 - HOLO) in the PSG_Sejs_NET network



Ryc. 11. Fragment mapy dynamiki deformacji terenu na tle danych historycznych (Perski i in., 2020)

Fig. 11. Part of the map of terrain deformation dynamics based on historical data (Perski et al., 2020)

260 scen obejmujących okres pomiędzy 26.10.2014 r. a 26.06.2020 r. W domenie czasu dane były rejestrowane w interwałach co 12 dni (dla jednego satelity Sentinel-1) lub co 6 dni dla pełnej konstelacji Sentinel-1 A/B. Dane radarowe poddano przetwarzaniu metodą satelitarnej interferometrii radarowej rozpraszaczy stabilnych (PSI – *Persistent Scatterers Interferometry*; Hooper i in., 2012). Tereny objęte największymi współczesnymi osiadaniem to GZW oraz rejon wydobywania soli w pasie wysadów solnych.

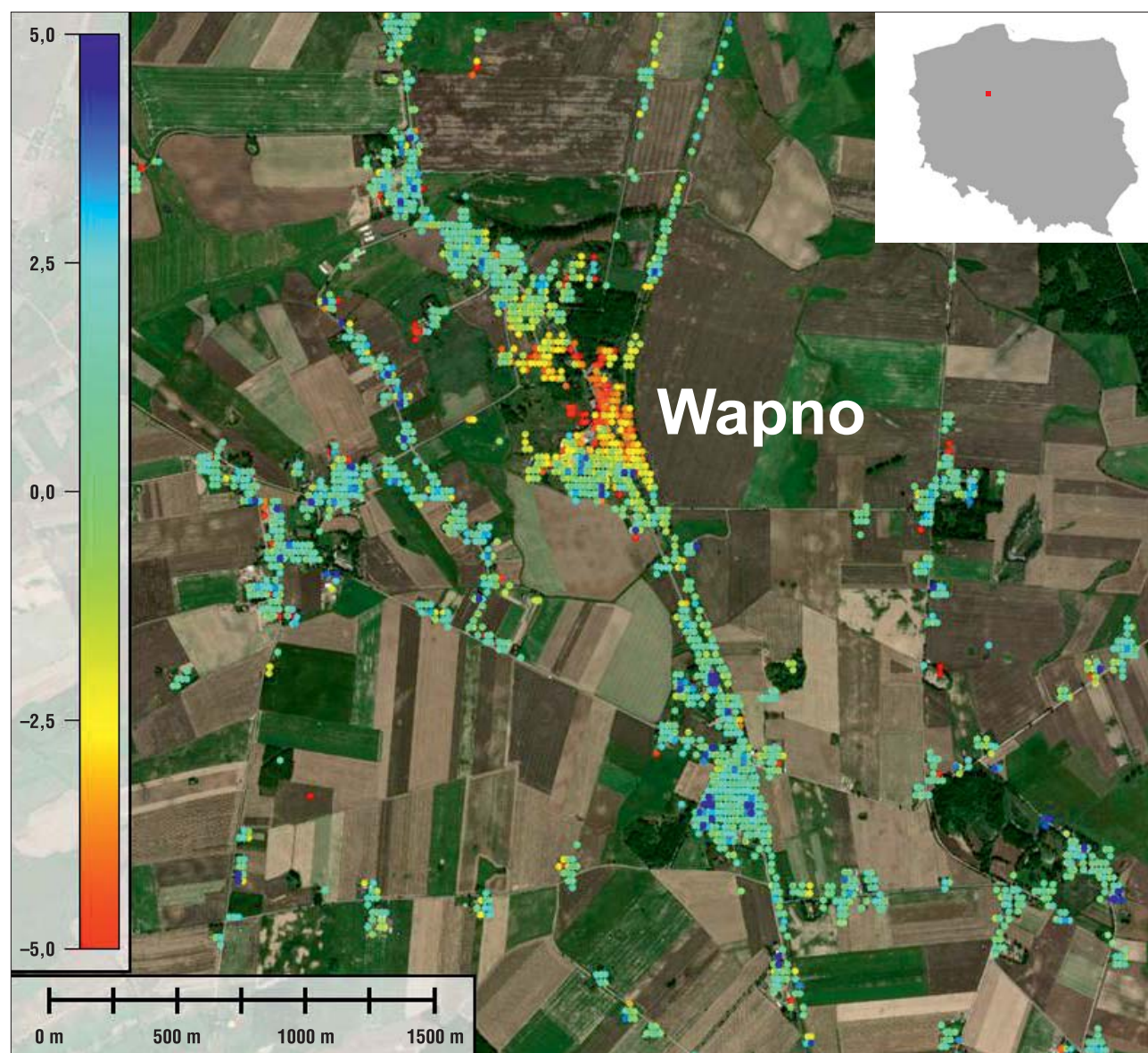
Dla obszaru GZW w 2020 r. wykonano mapę obrazującą współczesną dynamikę osiadań na tle deformacji historycznych. Na główną treść tej mapy składają się 3 warstwy tematyczne:

- historyczne niecki osiadania (lata 1883–2013), obliczone na bazie numerycznych modeli terenu z map historycznych i współczesnego modelu terenu otrzymanego na bazie danych z lotniczego skaningu laserowego;
- średnie dobowe przyrosty osiadań (lata 1993–2010), obliczone na bazie historycznych danych radarowych InSAR;

– współcześnie występujące prędkości deformacji (lata 2014–2017), uzyskane na bazie danych Sentinel-1 (ryc. 11).

Z pomiarów wynika, że na obszarze GZW licznie występują obszary obniżania terenu związane z działalnością górnictwem o prędkościach przekraczających 7 mm/rok.

Spośród podlegających deformacjom obszarów eksploatacji soli kamiennej największe zagrożenie stanowi rozwijająca się niecka osiadań w miejscowości Wapno. Po katastrofalnym zalaniu podziemnej kopalni gipsów i soli w 1977 r. na powierzchni terenu dochodzi tam do występowania zapadlisk, a teren podlega stałemu obniżaniu o średnich wartościach do 2,5 mm/rok. Największe ruchy występują w rejonie dawnego wyrobiska gipsów (ryc. 12). Dynamikę deformacji opracowano podobnie jak dla GZW metodą PSI na podstawie danych Sentinel-1. Strefa największych deformacji (>5 mm/rok) jest zlokalizowana w centrum miejscowości w otoczeniu dawnego wyrobiska odkrywkowego (*gipsiaka*) i rozciąga się w kierunku północnym w stronę parku miejskiego będącego rejonem zasypanego leja sufozyjnego z katastrofy z 1977 r.



Ryc. 12. Osiadania miejscowości Wapno na zbiorze danych PS Sentinel-1. Deformacja [mm/rok] (Perski i in., 2020)
Fig. 12. Terrain deformations of the Wapno area based on Sentinel-1 PS dataset [mm/yr] (Perski et al., 2020)

PODSUMOWANIE

Zagrożenia geologiczne w Polsce są związane z procesami naturalnymi lub z działalnością antropogeniczną. W uzasadnionych przypadkach mogą być one kompensowane przez działania człowieka. Powinny być one poprzedzone szczegółowymi badaniami mającymi na celu dokładne ich rozpoznanie oraz określenie uwarunkowań geologicznych. Prawidłowo zidentyfikowane zagrożenia oraz ich monitorowanie stanowią podstawę strategii redukcji ryzyka związanego z geozagrożeniami, która zaczyna się już na etapie planowania przestrzennego.

W 2020 r. w Polsce nie odnotowano wielkich katastrof związanych z zagrożeniami geologicznymi. Zdarzeń nabierających wymiar medialny było również stosunkowo mniej niż w latach poprzednich. Nie oznacza to jednak, że Polska była wolna od tych zagrożeń. Pomimo że rok 2020 charakteryzował się przeciętnymi opadami, to największe straty materialne niesły za sobą osuwiska, które uaktywniały się lub których chroniczna dynamika obserwowana była w przeciągu całego roku. W ubiegłym roku zanotowano setki wstrząsów sejsmicznych, indukowanych głównie działalnością górnictw. Stwierdzono ponadto osiadania powierzchni terenu związanego z podziemną działalnością górnictw. Oprócz wymienionych pojawiały się zapadliska, deformacje o genezie krasowej czy problemy związane z erozją. Wszystkie te geozagrożenia są przedmiotem zainteresowania PIG-PIB w ramach realizacji zadań PSG.

Autorzy składają serdeczne podziękowania wszystkim współpracownikom za wysiłek włożony w rzetelną realizację zadań w 2020 r., co umożliwiło zebranie danych i kompleksowe ich opracowanie. Autorzy dziękują również Recenzentowi za poświęcony czas oraz cenne uwagi, które pozwoliły udoskonalić treść i formę artykułu.

LITERATURA

BOBER L. 1984 – Rejony osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych i ich związek z budową geologiczną regionu. *Biul. Inst. Geol.*, 340: 115–162.

CRUDEN D.M., VARNES D.J. 1996 – *Landslide Types and Processes*, Special Report, Transportation Research Board. *Nat. Acad. Sci.*, 247: 36–75.

CYBULSKA D. 2020 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, miasto Pisz, pow. piski, woj. warmińsko-mazurskie. Starostwo Powiatowe w Piesz.

CYBULSKA D., OZIMKOWSKI W. 2020 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, miasto i gmina wiejska Kętrzyn, pow. kętrzyński, woj. warmińsko-mazurskie. Starostwo Powiatowe w Kętrzynie.

DĄBROWSKI R., POPIELSKI W., KURKOWSKI S. 2020 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, gm. Kańczuga, pow. przeworski, woj. podkarpackie. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa.

GIL E., STARKEL L. 1979 – Long-term extreme rainfalls and their role in the modeling of flysch slopes. *Stud. Geomorph. Carpat-Bal.*, 13: 207–220.

GRANICZNY M., MIZERSKI W. 2007 – *Katastrofy przyrodnicze*. PWN. Warszawa, s. 198.

GUTERCH B. 2009 – Sejsmiczność Polski w świetle danych historycznych. *Prz. Geol.*, 57 (6): 513–520.

HOOPER A.J., BEKAERT D., SPAANS K., ARIKAN M. 2012 – Recent advances in SAR interferometry time series analysis for measuring crustal deformation. *Tectonophysics* 514–517: 1–13; doi: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2011.10.013>

hydro.imgw.pl, dostęp 22.06.2020, październik 2020

KACZOROWSKI J., MICHALIK K., RYCIO E. 2020 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, gm. Jasienica Rosielna, pow. brzozowski, woj. podkarpackie. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa.

KARWACKI K. 2019 – Zastosowanie bezzałogowego statku latającego (UAV) w monitoringu powierzchniowym ruchów masowych na przykładzie osuwiska w Kasińce Małej (Beskid Wyspowy, Karpaty Zewnętrzne Zachodnie). *Prz. Geol.*, 67 (5): 339–350; doi: <http://dx.doi.org/10.7306/2019.28>

KLECZKOWSKI A. 1955 – *Osuwiska i zjawiska pokrewne*. Wyd. Geol., Warszawa.

KOLUCH Z., NOWICKA D., JURCZAK S., CYRULIK J., MASZTAFIAK Ł. 2020a – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, gm. Gać, pow. przeworski, woj. podkarpackie. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa.

KOLUCH Z., NOWICKA D., JURCZAK S., KRÓLIKOWSKA S., MASZTAFIAK Ł. 2020b – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, gm. Białobrzegi, Czarna, Rakszawa, Żońnia, pow. łańcucki, woj. podkarpackie. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa.

KWIECKO P., OCHMAŃSKA A., RYCIO E. 2020 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, gm. Domaradz, pow. brzozowski, woj. podkarpackie. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa.

MARCINIEC P., ZIMNAL Z. 2015 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi (MOTZ) i karty rejestracyjne osuwisk(KRO) jako źródło informacji osuwiskowej. [W:] *Ogólnopolska Konferencja O!SUWISKO*, 19–22 maja 2015 r., Wieliczka. *Państw. Inst. Geol.*, Warszawa: 47–48.

PAGACZEWSKI J. 1972 – Catalogue of earthquakes in Poland in 1000–1970 years. *Publs. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sc.* 51: 3–36.

PALMER T. 2003 – *Perilous Planet Earth. Catastrophes and Catastrophism through the Ages*. Cambridge University Press.

PERSKI Z. 2019 – Zaawansowane techniki InSAR w monitorowaniu osuwisk. *Prz. Geol.*, 67 (5): 351–359; doi: <http://dx.doi.org/10.7306/2019.29>

PERSKI Z., KOWALSKI Z., PRZYLUCKA M., JANIA D., DACKA J., WOJCIECHOWSKI T., NESCIERUK P., WÓDKA M., WARMUZ B. 2020 – Interferometryczny Monitoring Terenu Polski etap 1. Mapa deformacji terenów mogących powodować szkody w środowisku i zniszczenia infrastruktury technicznej obszaru Górnego Zagłębia Węglowego wykonana w oparciu o dostępne satelitarne dane archiwalne obejmujące okres 1992–2017 r. Efekt rzeczowy z realizacji zadania z zakresu państwowej służby geologicznej za okres: od 1 stycznia 2018 do 31 grudnia 2020 r.

PERSKI Z., NESCIERUK P., WOJCIECHOWSKI T. 2019 – Zagrożenia osuwiskowe dla sztucznych zbiorników wodnych w Karpatach. *Prz. Geol.*, 67 (5): 332–338; doi: <http://dx.doi.org/10.7306/2019.27>

PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., WÓJCIK A., NESCIERUK P. 2013 – Techniki naziemne, lotnicze i satelitarne w rozpoznawaniu osuwisk. *Geoinżynieria drogi tunele* 4/2013 (45): 30–35.

POPRAWA D., RĄCZKOWSKI W. 2003 – *Osuwiska Karpat*. *Prz. Geol.*, 51: 685–692.

PYRC R. 2020 – Wykonanie map średnich miesięcznych wilgotności gruntu dla obszaru polskich karpat oraz monitoring opadów osuwiskowych w latach 2018–2020 (crzp-240-1166/2019). Raport końcowy. IMGW-PIB. *Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Kraków.

RĄCZKOWSKI W., MROZEK T. 2002 – Activating of landsliding in the Polish Flysch Carpathians by end of the 20th century. *Stud. Geomorph. Carpat-Balc.*, 36: 91–111.

USTAWA z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska. *Dz.U.* z 2018 r. poz. 799, z późn. zm.

USTAWA z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze. *Dz.U.* z 2017 r. poz. 2126, z późn. zm.

USTRNUL Z., WYPYCH A., JAKUSIK E., BIERNACIK D., CZEKIERDA D., CHODUBSKA A. 2021 – *Biuletyn Monitoringu Klimatu Polski*. IMGW-PIB, Warszawa

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 (1): 5.

WARMUZ B., NESCIERUK P. 2019 – Dynamika przemieszczeń wybranych osuwisk w Karpatach. *Prz. Geol.*, 67 (5): 326–331.

WÓJCIK A., WOJCIECHOWSKI T. 2016 – Osuwiska jako jeden z ważniejszych elementów zagrożeń geologicznych w Polsce. *Prz. Geol.*, 64 (9): 701–709.

ZABUSKI L., THIEL K., BOBER L. 1999 – *Osuwiska we fliszu Karpat polskich*. Geologia, modelowanie, obliczenia stateczności. Wyd. IBW PAN, Gdańsk: 1–171.

ZARUBA Q., MENCEL V. 1982 – *Mechanics of the development of slope failures*. [W:] *Land slides and their control*, vol 31 of *Developments in Geotechnical Engineering*, Chapter 4. Elsevier: 54–73

ZIĘTARA T. 1968 – Rola gwałtownych ulew i powodzi w modelowaniu rzeźby Beskidów. *Pr. Geogr. IG PAN*, 60.

Praca wpłynęła do redakcji 21.04.2021 r.
Akceptowano do druku 4.05.2021 r.

Zagrożenia geologiczne w Polsce w 2020 roku (patrz str. 303)

Geohazards in Poland in 2020 (see p. 303)



Ryc. 3. Widok na górną część osuwiska w Grybowie. Fot. P. Nescieruk

Fig. 3. View of the upper part of landslide in Grybów. Photo by P. Nescieruk



Ryc. 4. Osuwisko w Podolanach, gm. Kalwaria Zebrzydowska. Fot. S. Kamierniarz

Fig. 4. Landslide in Padolany in Kalwaria Zebrzydowska commune. Photo by S. Kamierniarz



Ryc. 5. Zniszczenie parkingu w strefie skarpy głównej osuwiska w Bielsku-Białej. Fot. I. Laskowicz

Fig. 5. Destruction of the car park in the main slope zone of the landslide in Bielsko-Biała. Photo by I. Laskowicz



Ryc. 8. Erozja brzegu w rejonie rezerwatu Widowo. Fot. M. Olkowicz

Fig. 8. Coastal erosion in the vicinity of the Widowo natural reserve. Photo by M. Olkowicz