

Sejsmiczność naturalna Polski uzupełniona o wyniki projektu *Monitoring geodynamiczny Polski (2013–2023)*

Monika Staszek¹, Beata Plesiewicz¹, Łukasz Rudziński¹, Grzegorz Lizurek¹,
Tomasz Czerwiński², Mirosław Musiatewicz², Kamila Karkowska², Kaj Michałowski²



M. Staszek



B. Plesiewicz



Ł. Rudziński



G. Lizurek



T. Czerwiński



M. Musiatewicz



K. Karkowska



K. Michałowski

Natural seismicity of Poland complemented by the results of *Geodynamic Monitoring of Poland* project (2013–2023). *Prz. Geol.*, 72: 517–531; doi: 10.7306/2024.33

Abstract. Continuous monitoring of natural seismicity in Poland with mobile seismic network has been carried out since 2008. Since September 2013 this task is being realized as a part of the Geodynamic Monitoring of Poland (GMP) project by the Institute of Geophysics of Polish Academy of Sciences and Polish Geological Institute – National Research Institute. The PSG_Sejs_NET network, operating within the project, consists of 39 mobile and 2 permanent stations distributed among the entire area of Poland. Among them, 14 mobile stations are located in the area of Carpathian Mountains where the biggest number of tectonic earthquakes was described and detected in the past. Auxiliary, data from 7 broadband seismometers of the PLSN network is used for

earthquake detection. In this paper the catalog of natural seismic events recorded in the period 1.01.2013–31.10.2023 by the stations of PSG_Sejs_NET network is presented. Tectonic earthquakes identified in this period within Polish borders include: 1) 140 events with local magnitudes $M_L = 0.2–2.7$ which occurred in Podhale region (Orawa–Nowy Targ Basin), 2) 2 events with $M_L = 0.7$ and $M_L = 2.0$ recorded in the area of Chochołowska Valley (Tatry Mts), 3) 1 event with $M_L = 2.7$ located near Szczawnica city (Pieniny / Beskid Sądecki Mts), 4) 2 events with $M_L = 3.3$ and $M_L = 2.9$ recorded in the area of Krynica-Zdrój (Beskid Sądecki Mts), 5) 1 event with $M_L = 1.4$ which occurred in the area of Grybów (Beskid Niski Mts / Różnów and Ciężkowice Foothills), 6) 2 events with $M_L = 1.7$ and $M_L = 2.0$ localized in the area of Kamiénica village (Gorce Mts). The biggest number of earthquakes was recorded in Podhale, which is the most seismically active region in Poland. The mean seismic activity in Podhale in the period 2013–2023 equals 1.06 event/30 days. Estimated magnitude of completeness for the 2008–2023 Podhale catalog equals $M_L^C = 0.8$. Recorded events instrumentally confirm the existence of tectonic seismicity in the Polish part of Carpathian Mountains, where natural earthquakes occurred also in the past. Apart from the mountain ranges already known for hosting tectonic seismicity, natural earthquakes have been identified for the first time in the area of Gorce Mountains. No tectonic earthquakes were recorded in the other regions of Poland with documented seismic history, i.e. Teisseyre’a-Tornquist Zone, Precambrian Platform, Sudetes and Sudeten Foreland. In this work we shortly describe natural seismicity in these regions basing on available historical catalogs and instrumental data. As a result, a map of tectonic earthquakes which occurred in the period 1496–2023 within Polish borders against a background of main geological units and faults is presented.

Keywords: natural seismicity, earthquakes, seismic hazard, Geodynamic Monitoring of Poland

Polska należy do krajów o znikomej naturalnej aktywności sejsmicznej. Najnowszy katalog sejsmiczny zjawisk naturalnych sięgający 1496 r. został opracowany przez Guterch (2009a) i zawiera 69 wstrząsów głównych. Jego zaktualizowana wersja obejmuje okres 1496–2014, zawiera 80 wstrząsów głównych i została dodatkowo wzbogacona o wstrząsy poprzedzające i następcze (Guterch, 2015). Aż do 1989 r. katalog opracowany przez Guterch (2015) opiera się na źródłach historycznych, danych makrosej-

smicznych oraz wcześniej opracowanych katalogach (m.in. Laska, 1902; Kárník i in., 1958; Pagaczewski, 1972). Dopiero od 1989 r. parametry skatalogowanych wstrząsów wyznaczone zostały na podstawie danych instrumentalnych, począwszy od wstrząsu o magnitudzie lokalnej $M_L = 3,1$ zarejestrowanego 24.10.1989 r. na terenie Podhala (Guterch, 2015).

Ciągły monitoring sejsmologiczny obszaru Polski jest prowadzony przez Polską Sieć Sejsmologiczną (PLSN)

¹ Instytut Geofizyki Polskiej Akademii Nauk, ul. Księcia Janusza 64, 01-452 Warszawa; mstaszek@igf.edu.pl, bples@igf.edu.pl, rudzin@igf.edu.pl, lizurek@igf.edu.pl; ORCID ID: M. Staszek – 0000-0001-7473-6895, B. Plesiewicz – 0009-0000-7697-4424, Ł. Rudziński – 0000-0003-2748-4167, G. Lizurek – 0000-0002-4801-4888

² Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4; 00-975 Warszawa; tcze@pgi.gov.pl, mmus@pgi.gov.pl, kkark@pgi.gov.pl, kmic@pgi.gov.pl; ORCID ID: T. Czerwiński – 0000-0002-8890-5909; M. Musiatewicz – 0000-0002-6707-793X; K. Karkowska – 0000-0001-7039-7718; K. Michałowski – 0009-0001-5658-0855

pod nadzorem Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk (IGF PAN). Dane cyfrowe są rejestrowane od początku lat 90. XX w., jednak rzadkie rozmieszczenie stacji nie pozwala na dokładną detekcję i lokalizację słabych wstrząsów (Rudziński i in., 2021). W celu lepszego rozpoznania sejsmicznego obszaru Polski w okresie 2008–2012 był prowadzony szczegółowy monitoring sejsmologiczny w wybranych obszarach kraju, gdzie miały miejsce historyczne trzęsienia Ziemi (projekt *Monitoring Zagrożenia Sejsmicznego Obszaru Polski* – MZSOP; Trojanowski i in., 2012, 2015). Od września 2013 r. liczba stacji sejsmicznych permanentnie monitorujących obszar Polski znacząco się zwiększyła dzięki realizacji projektu *Monitoring Geodynamiczny Polski* (MGP) prowadzonego przez Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB). W ramach tego zadania utrzymywane są mobilne stacje krótkookresowe i szerokopasmowe rozmieszczone na terenie całej Polski oraz lokalna sieć sejsmometrów krótkookresowych na Podhalu.

Celem niniejszej pracy jest zaprezentowanie wyników monitoringu sejsmiczności naturalnej na terenie Polski w okresie 1.01.2013–31.10.2023 r., prowadzonego przez IGF PAN oraz PIG-PIB w ramach projektu MGP.

Polska jest krajem o znaczącej aktywności sejsmicznej pochodzenia antropogenicznego. Sejsmiczność tego typu dzieli się na sejsmiczność indukowaną, czyli bezpośrednio związaną z działalnością ludzką, oraz sejsmiczność wyzwalaną, która posiada komponent naturalny związany z istniejącymi naprężeniami tektonicznymi. Sejsmiczność antropogeniczna w Polsce jest lokalizowana na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW; Stec, 2007) oraz Lublińskiego-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM; Lasocki, 2005), w okolicy Belchatowa (Wiejacz, Rudziński, 2010), a także w rejonie Jeziora Czorsztyńskiego (Białoń i in., 2015, 2019). W niniejszej pracy sejsmiczność antropogeniczna nie została uwzględniona. Krótko opisano jedynie sejsmiczność wyzwalaną, rejestrowaną w rejonie Jeziora Czorsztyńskiego, ze względu na niewielką odległość pomiędzy zbiornikiem a Podhalem, gdzie występują wstrząsy pochodzenia tektonicznego. Ponadto występowanie sejsmiczności wyzwolonej jest związane z obecnością potencjalnie sejsmogenicznych uskoków, co jest istotne z punktu widzenia niniejszej pracy.

OBSZARY O UDOKUMENTOWANEJ AKTYWNOŚCI HISTORYCZNEJ

Na terenie Polski naturalne trzęsienia Ziemi występują głównie w dwóch strefach tektonicznych: wzdłuż strefy Teisseyre'a-Tornquista (T-T), przecinającej Polskę z NW na SE, oraz na południu Polski w Karpatach i Sudetach. Ponadto niewielka aktywność sejsmiczna została opisana na obszarze platformy wschodnioeuropejskiej oraz bloku przedsudeckiego, choć jest ona słabo udokumentowana na tych obszarach (ryc. 1; Guterch, 2009a).

Strefa Teisseyre'a-Tornquista

Strefa T-T stanowi południowo-wschodnią część europejskiej granicy litosferycznej pomiędzy prekambryjską platformą wschodnioeuropejską na NE a paleozoiczną platformą zachodnioeuropejską na SW (Narkiewicz i in., 2015). Ma ona szerokość ok. 50 km (Mazur i in., 2017) i przecina Polskę wzdłuż kierunku NW–SE od Koszalina na NW po Tomaszów Lubelski na SE (Stupnicka, Stempień-Sałek,

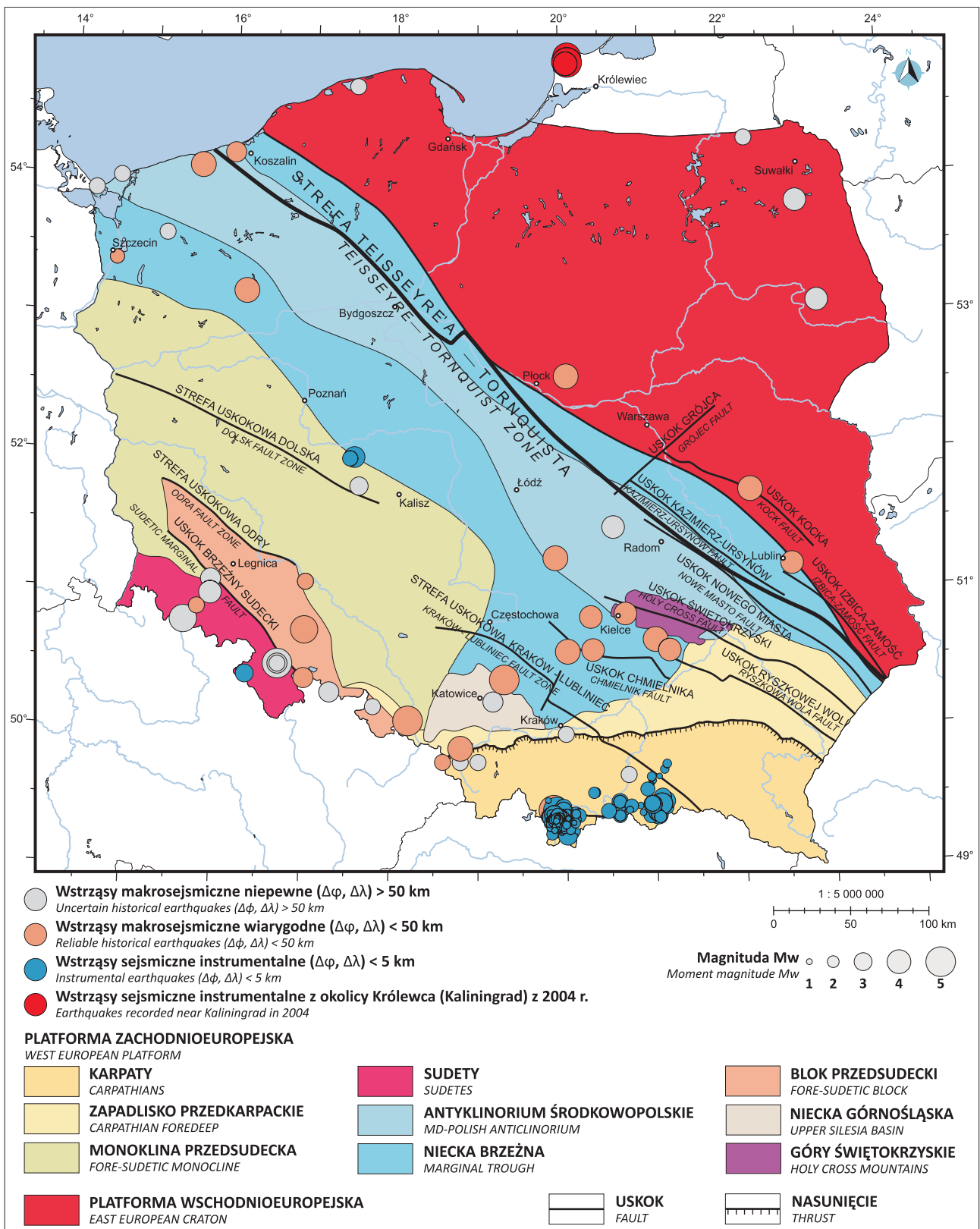
2016; ryc. 1). Strefa T-T jest związana z wyraźną zmianą głębokości nieciągłości Moho (Mazur i in., 2017), a także wyraźną, gradientową zmianą właściwości geofizycznych skorupy (Guterch i in., 2010). Na całej swej długości strefa ta jest przykryta przez sukcesje paleozoicznych, permomezozoicznych oraz kenozoicznych basenów sedymentacyjnych o miąższości 8–10 km (np. Mazur i in., 2015, 2017). Do powstania dużej liczby uskoków odwróconych zarówno pod utworami cechsztynu jak i powyżej nich doprowadziła daleko posunięta regionalna inwersja, której uległ cały obszar Nizy Polskiego w później kredzie (Krzywiec, 2002, 2006; Krzywiec i in., 2022). Uskokki te mogą być źródłem wstrząsów sejsmicznych. Trzęsienia Ziemi zostały odnotowane w szerokim pasie wzdłuż strefy T-T, głównie na Pomorzu Zachodnim (8 wstrząsów głównych w okresie 1606–1928) oraz w rejonie Gór Świętokrzyskich (najstarszy wstrząs w 1837 r.; Guterch, 2009a). W lutym 1932 r. w SE części strefy T-T wystąpiła seria wstrząsów rojowych, najsilniej odczuty w okolicach Płocka, Kielc i Jędrzejowa (Guterch, 2009a; ryc. 1).

Pierwszym instrumentalnie zarejestrowanym wstrząsem sejsmicznym w centralnej Polsce był wstrząs z 6.05.2007 r. o $M_L = 2,8$ z epicentrum zlokalizowanym w okolicy Jarocina (ryc. 1; Lizurek i in., 2013), na głębokości ok. 4 km (Polkowski i in., 2016). Wstrząs ten zidentyfikowano po przeprowadzeniu automatycznej detekcji na danych z eksperymentu PASSEQ (Trojanowski i in., 2012; Polkowski i in., 2016). Obliczony mechanizm wstrząsu wskazywał na jego wystąpienie na uskoku normalnym o rozciągłości NE–SW. W tym samym rejonie, w dniu 6.01.2012 r., w pobliżu uskołu Dolska wystąpiło trzęsienie Ziemi o $M_L = 3,8$ (Trojanowski i in., 2012; Lizurek i in., 2013). Zjawisko to było odczuwalne w promieniu 60 km wokół miejscowości Żerków w powiecie jarocińskim. Wyznaczony mechanizm wstrząsu wskazywał, że jego źródłem jest uskoku normalny o rozciągłości E–W i upadzie 40–50° (Lizurek i in., 2013). Głębokość wstrząsu oszacowana na podstawie danych makrosejsmicznych wyniosła 4,5 km, natomiast biorąc pod uwagę dane instrumentalne, głębokość została ustalona odgórnie na 10 km (Lizurek i in., 2013). Otrzymane wyniki analiz nie pozwoliły na jednoznaczne powiązanie genu wstrząsu z uskokiem Dolska (Lizurek i in., 2013). W katalogach historycznych rejon ten nie był rozpoznany jako aktywny sejsmicznie. Wiadomo jedynie o niejasnych wzmiankach w pamiętniku Adama Turno (1775–1851), który opisuje wstrząs odczuty w nocy 13/14.12.1824 r. w miejscowości Dobrzyca, 15 km na SE od Jarocina (Trojanowski i in., 2012; Lizurek i in., 2013).

Na terenie Pomorza Zachodniego, Gór Świętokrzyskich oraz wzdłuż pozostałej części strefy T-T nie zarejestrowano instrumentalnie żadnych wstrząsów, pomimo 2,5-letniego okresu monitoringu tych obszarów prowadzonego w ramach projektu MZSOP w latach 2010–2012 (Trojanowski i in., 2015).

Platforma prekambryjska

Na obszarze polskiej części platformy prekambryjskiej skatalogowano jedynie 3 wstrząsy historyczne o słabej wiarygodności (Guterch, 2015). Istotną wydaje się natomiast informacja o wstrząsach o $M_L = 5,0$ i $M_L = 5,3$ zarejestrowanych w rejonie Królewca (dawniej Kaliningradu) 21.09.2004 r., na głębokościach odpowiednio 16 i 20 km (Wiejacz, 2006; ryc. 1). Wstrząsy te wystąpiły w rejonie uznawanym za asejsmiczny i spowodowały liczne szkody,



Ryc. 1. Wstrząsy sejsmiczne pochodzenia tektonicznego (okres wystąpienia 1496–2023) na tle głównych jednostek geologicznych oraz głównych uskoków na obszarze Polski (mapa autorska). Źródła danych sejsmologicznych: Draber i in., 1998, 2000a, b, 2001, 2002, 2003a, b, 2004; ESI SAS, 2004; Zuchniak i in., 2005; Guterch, 2007, 2009a, b, c, 2015; Wiejacz i in., 2008; Trojanowski i in., 2012, 2015; Lizurek i in., 2013; Polkowski i in., 2016; oraz zał. 1. Źródła danych geologicznych: Narkiewicz, Dadlez, 2008; Żelaźniewicz i in., 2011; Narkiewicz i in., 2015

Fig. 1. Tectonic earthquakes (period of occurrence 1496–2023) against a background of main geological units and main faults in Poland (author's map). Sources of seismological data: Draber et al., 1998, 2000a, b, 2001, 2002, 2003a, b, 2004; ESI SAS, 2004; Zuchniak et al., 2005; Guterch, 2007, 2009a, b, c, 2015; Wiejacz et al., 2008; Trojanowski et al., 2012, 2015; Lizurek et al., 2013; Polkowski et al., 2016; and Appendix 1. Sources of geological data: Narkiewicz, Dadlez, 2008; Żelaźniewicz et al., 2011; Narkiewicz et al., 2015

również na terenie Polski. Mapę przedstawiającą rozkład intensywności królewieckich trzęsień Ziemi można znaleźć w pracach autorstwa Gregersena i in. (2007) oraz Guterch (2009a).

Sudety i Przedgórze Sudeckie

Występowanie sejsmiczności w rejonie Sudetów zostało potwierdzone historycznie (Guterch, 2009a) i na podstawie danych instrumentalnych (Guterch, 2015). Najsilniejsze wstrząsy występują w rejonie strefy uskokowej Hronov-Poříčí na terenie Republiki Czeskiej (Guterch, 2015), gdzie jest rejestrowana ciągła słaba aktywność sejsmiczna. Na terenie Polski wstrząsy sejsmiczne w Sudetach występowały na obszarze Karkonoszy i Kotliny Kłodzkiej. Najstarszy, a zarazem najsilniejszy z nich, wystąpił 10.02.1562 r., a jego magnituda makrosejsmiczna (M_{ms}) wyniosła $M_{ms} = 4,9$ (Guterch, 2009a). Jedyne wstrząsy, który w tym rejonie został zarejestrowany instrumentalnie przez stacje sieci PLSN, wystąpił 22.04.1992 r., a wyznaczona magnituda momentu sejsmicznego (M_w) wyniosła $M_w = 3,0$ (Draber i in., 2000a). Jest to zarazem ostatni wstrząs skatalogowany na terenie polskiej części Sudetów.

Sejsmiczność na terenie Przedgórze Sudeckiego jest słabo rozpoznana, a dane historyczne mają małą wiarygodność. Jedynym dobrze rozpoznany wstrząsem jest zdarzenie z 11.06.1895 r. ($M_{ms} = 4,5$, wg Guterch, 2009a) poprzedzone serią słabszych wstrząsów (Guterch, 2015). Wstrząs ten wystąpił w rejonie sudeckiego uskoku brzeźnego na głębokości ok. 8 km (Guterch, 2009a).

W latach 1496–1895 katalog historyczny obejmuje 15 wstrząsów głównych, które wystąpiły w polskiej części Sudetów i Przedgórze Sudeckiego (Guterch, 2015). Po tym okresie zarejestrowano tu jedynie jeden wstrząs w 1992 r. (Draber i in., 2000a). Podczas lokalnego monitoringu sejsmicznego rejonu Sudetów prowadzonego w ramach projektu MZSOP w okresie 2008–2010 nie zarejestrowano żadnych wstrząsów w tym obszarze (Trojanowski i in., 2012, 2015).

Karpaty

Główna aktywność sejsmiczna na terenie Karpat jest obserwowana w ich południowo-wschodniej części na terenie Rumunii (strefa Vrancea) oraz w Kotlinie Panońskiej (Plesiewicz, Wiszniowski, 2015). Sejsmiczność w Karpatach Zachodnich, obejmujących częściowo obszar południowej Polski, jest zdecydowanie mniejsza, jednak w skali Polski jest to region najbardziej aktywny sejsmicznie. Wstrząsy zostały odnotowane na obszarze polskiej części Zewnętrznych Karpat Zachodnich: w obrębie Beskidów Zachodnich (Beskid Śląski i Beskid Sądecki), Beskidów Środkowych (Beskid Niski) i Pogórza Środkowobeskidzkiego (Pogórze Rożnowskie i Pogórze Ciężkowickie), oraz w Centralnych Karpatach Zachodnich w obrębie Obniżenia Orawsko-Podhalańskiego (Kotlina Orawsko-Nowotarska, Pieniny, Pogórze Przedtatrzanie, Bruzda Podtatrzanie oraz Magura Spiska; nazwy regionów fizycznogeograficznych wg klasyfikacji Solona i in., 2018). Pojedyncze wstrząsy zarejestrowano na terenie Gorców (Beskidy Zachodnie

oraz Tatr (zał. 1). Lokalizacje dwóch wstrząsów historycznych opisanych przez Guterch (2009a) jako sejsmiczność obszaru zapadliska przedkarpackiego są określone z dużym błędem, a aktywność w tym rejonie nie została potwierdzona danymi instrumentalnymi (ryc. 1). W związku z tym w niniejszej pracy nie opisujemy zapadliska przedkarpackiego jako obszaru o udokumentowanej sejsmiczności pochodzenia tektonicznego.

Beskid Śląski. Szczególną aktywność sejsmiczną w rejonie Beskidu Śląskiego i Śląska Cieszyńskiego skatalogowano w latach 1785–1786 (Guterch, 2015), kiedy wystąpiły tam wstrząsy o magnitudzie maksymalnej $M_{ms} = 5,4$ (Guterch, 2009a; Guterch i in., 2015). Stosunkowo duża głębokość wstrząsów głównych (do 35 km) wskazuje na ich lokalizację w strefie kontaktu Karpat i Masywu Czeskiego. Katalog historyczny obejmuje ponadto 4 wstrząsy, które wystąpiły w tym rejonie w okresie 1837–1876 (Guterch, 2015).

Beskid Sądecki. Aktywność sejsmiczna na terenie Beskidu Sądeckiego obejmuje: 1) jeden wstrząs historyczny o słabej wiarygodności $M_{ms} = 3,1$ z 1909 r. (Guterch, 2009a); 2) dwie serie wstrząsów o magnitudach wstrząsów głównych $M_L = 3,6$ oraz $M_L = 4,0$, które zarejestrowano w okolicy Krynicy-Zdroju 29.06.1992 r. i 1.03.1993 r. (głębokość wstrząsów głównych to ok. 3 km; Draber i in., 2000a, b; Guterch, 2015) oraz kilka wstrząsów o $M_L < 3,0$ w okresie pomiędzy nimi (Draber i in., 2000a, b; Guterch i in., 2000); 3) cztery słabe wstrząsy o $M_L \approx 1$ zarejestrowane w okresie 2007–2009 przez Słowacką Sieć Sejsmologiczną (ESI SAS, 2004); 4) jeden wstrząs o $M_L = 2,1$ i głębokości ok. 3 km zarejestrowany 23.10.2009 r. w okolicy Krynicy w ramach projektu MZSOP (Trojanowski i in., 2015³). W czasie trwania projektu MGP (2013–2023) zarejestrowano kolejne 2 wstrząsy o $M_L = 3,3$ oraz $M_L = 2,9$, które wystąpiły na północ od Krynicy na głębokościach odpowiednio 16 i 14 km (zał. 1).

Ponadto w lipcu 2001 r. zarejestrowano serię wstrząsów o $M_w \approx 2$, z wstrząsem głównym o magnitudzie $M_w = 2,8$, które wystąpiły na granicy Beskidu Sądeckiego i Pienin w rejonie Szczawnicy i Piwnicznej-Zdroju (Draber i in., 2003b). Kolejne trzy wstrząsy o $M_w = 1,2$ – $2,2$ zarejestrowano w tym rejonie w latach 2002 i 2004 (Draber i in., 2004; Guterch, 2007). W dniu 1.04.2014 r. w ramach projektu MGP zarejestrowano 1 wstrząs o $M_L = 2,7$, który wystąpił w okolicy Szczawnicy na głębokości ok. 5 km (zał. 1).

Beskid Niski, Pogórze Rożnowskie i Pogórze Ciężkowickie. Na obszarze granicznym pomiędzy Beskidem Niskim a Pogórzami Rożnowskim i Ciężkowickim, w okolicy Grybowa, zarejestrowano serię 13 słabych wstrząsów sejsmicznych, które wystąpiły w okresie 24–25.09.2007 r., najsilniejszy z nich o $M_w = 2,6$ odnotowano 25.09.2007 r. (głębokość ok. 5 km; Wiejacz i in., 2008). Jeden wstrząs o $M_L = 1,4$ i głębokości ok. 2 km zarejestrowano w tym rejonie 12.01.2017 r. w ramach projektu MGP (zał. 1).

Pieniny i Kotlina Orawsko-Nowotarska. Fragment Centralnych Karpat Zachodnich znajdujący się na terenie Polski obejmuje Obniżenie Orawsko-Podhalańskie oraz Łańcuch Tatrzaniecki (Solon i in., 2018). Geologicznie obszar

³ Dwa spośród trzech wstrząsów opisanych przez Trojanowskiego i in. (2015) w rejonie Krynicy zostały zlokalizowane na terenie Słowacji.

ten jest klasyfikowany jako Karpaty wewnętrzne, które obejmują Pieniński Pas Skałkowy (PPS), nieckę podhalańską oraz Tatry (Stupnicka, Stempień-Sałek, 2016). Obszar rozciągający się wzdłuż PPS i obejmujący nieckę podhalańską charakteryzuje się największą naturalną aktywnością sejsmiczną na terenie Polski. Jest to jedyny rejon, gdzie aktualnie jest rejestrowana stała aktywność sejsmiczna pochodzenia tektonicznego (Trojanowski i in., 2015), co potwierdzają wyniki projektu MGP. Wstrząsy występują tu na niewielkiej głębokości, średnio ok. 5 km. Do rozpoznania sejsmiczności rejonu PPS i Podhala w znacznym stopniu przyczyniła się lokalna sieć sejsmometrów krótkookresowych, która jest tu utrzymywana od czerwca 2008 r. (projekt MZSOP, później projekt MGP).

Katalog historyczny dla rejonu Podhala opracowany na podstawie danych makrosejsmicznych obejmuje wstrząsy główne, które wystąpiły w latach 1716, 1717, 1935, 1942 i 1966 w zakresie magnitud $M_L = 2,8-4,4$ (Plesiewicz, Wiszniowski, 2015). W okresie od 1989 r., kiedy rozpoczęto cyfrowy monitoring sejsmiczności za pomocą szerokopasmowych stacji sieci PLSN, do października 2023 r. odnotowano ponad 270 zjawisk sejsmicznych w zakresie magnitud $M_L = 0,2-4,3$ (Plesiewicz, Wiszniowski, 2015; Trojanowski i in., 2015; zał. 1). Magnitudy kompletności (M_C) katalogów z okresów 1989–2007 i 2008–2014 wynoszą odpowiednio $M_C = 2,4$ i $M_C = 0,8$. Prawdopodobieństwo wystąpienia wstrząsu o $M_W > 5$ w ciągu kolejnych 50 lat jest wyższe niż 0,1 (Plesiewicz, Wiszniowski, 2015).

Najsilniejszy instrumentalnie zarejestrowany wstrząs na Podhalu o $M_W = 4,5$ ($M_L = 4,3^4$) miał miejsce 30.11.2004 r. i wystąpił na głębokości ok. 3 km (Guterch, 2006, 2015; Wiejacz, Dębski, 2009). Po głównym wstrząsie nastąpiła seria wstrząsów wtórnych, które były rejestrowane przez kolejnych 9 miesięcy (Wiejacz, Dębski, 2009). Analiza mechanizmu wstrząsu przeprowadzona przez Wiejacza i Dębskiego (2009) wskazuje na orientację płaszczyzny uskokowej w kierunku NE–SW, a tym samym sugeruje tektoniczną genezę wstrząsu związaną z subsydemacją niecki podhalańskiej. Hipotezę tę potwierdzają dane o sejsmiczności historycznej. Ponadto aktywność tektoniczna w południowej części Kotliny Orawsko-Nowotarskiej, szczególnie w rejonie epicentralnym wstrząsu z 30.11.2004 r., w okresie od środkowego miocenu do czwartorzędzi została potwierdzona przez badania spękań klastów (Tokarski, Zuchiewicz, 1998; Zuchiewicz i in., 2002). Wiejacz i Dębski (2009) wskazują również na potencjalny związek wstrząsu z podziemnym przepływem wód geotermalnych, które od wczesnych lat 90. XX w. są wykorzystywane w instalacjach ciepłych w tym rejonie.

Pieniński Pas Skałkowy to wąska struktura tektoniczna o szerokości przeważnie kilkusetmetrowej, rzadziej kilkukilometrowej, oddzielająca Karpaty zewnętrzne od wewnętrznych (Stupnicka, Stempień-Sałek, 2016). Na terenie Polski rozciąga się ona pomiędzy Zewnętrznymi a Centralnymi Karpatami Zachodnimi i obejmuje obszar pomiędzy Starym Bystrem na zachodzie a doliną Białej Wody na wschodzie (Stupnicka, Stempień-Sałek, 2016). Zbudowany głównie ze skał węglanowych jury i kredy PPS jest poprzecinany uskokiemi przesuwczymi o orientacji NE–SW, których kinematykę odzwierciedlają struktury kwiatowe

występujące w strefie kontaktu jednostki magurskiej i PPS (Golonka i in., 2018). Wstrząsy sejsmiczne występują wzdłuż PPS w następujących rejonach: Małych i Białych Karpatach, okolicach Żiliny, Pieninach, Spiszu Słowackim oraz we wschodniej Słowacji (Guterch i in., 2005). Na terenie Polski relatywnie duża aktywność sejsmiczna, prawdopodobnie o charakterze sejsmiczności wyzwalanej działalnością człowieka, jest rejestrowana od 2011 r. w zachodniej części PPS w rejonie Jeziora Czorsztyńskiego (Białoń i in., 2015, 2019; IS-EPOS, 2017). Ponadto pojedyncze wstrząsy zarejestrowano w 2014 r. w okolicy Szczawnicy (patrz str. 527 oraz zał. 1).

Rejon Jeziora Czorsztyńskiego i Niedzicy. Zaporowy zbiornik wodny na Dunajcu (Jezioro Czorsztyńskie) był budowany w latach 1970–1997. Napełnianie zbiornika rozpoczęto w maju 1996 r. i do listopada 1996 r. miało ono charakter skokowy: co 1–2 miesiące podnoszono poziom wody o 2–3 m, rozpoczynając od rzędnej 513 m n.p.m. Od listopada 1996 r. do marca 1997 r. poziom wody utrzymywał się mniej więcej na stałym poziomie (średnia 522–523 m n.p.m.), a od marca 1997 r. zaczął stopniowo wzrastać, osiągając krótkotrwałą wartość maksymalną ok. 532 m n.p.m. w lipcu 1997 r. (dane udostępnione przez Zespół Elektrowni Wodnych Niedzica S.A. Skok ten był związany z zatrzymaniem wody w zbiorniku podczas powodzi, która wystąpiła w dorzeczu Wisły w lipcu 1997 r. W okresie 1998–2010 zarejestrowano ok. 50 wstrząsów, które wystąpiły w pobliżu jeziora (średnio 1 wstrząs na 3 miesiące; Białoń i in., 2019). Nagły wzrost aktywności sejsmicznej zaobserwowano w listopadzie 2011 r., kiedy zarejestrowano ponad 60 wstrząsów o charakterze rojowym (Trojanowski i in., 2012). Po tej serii aktywność sejsmiczna powróciła do poprzedniego poziomu, aby ponownie zacząć wzrastać w styczniu 2013 r. (Białoń i in., 2019). Od 24.08.2013 r. jest prowadzony stały monitoring sejsmiczny w rejonie Jeziora Czorsztyńskiego za pomocą lokalnej sieci sejsmometrów szerokopasmowych SENTINELS (Rudziński i in., 2021). Opracowywany na podstawie zbieranych danych katalog sejsmiczny jest publikowany na platformie EPISODES, poświęconej sejsmiczności antropogenicznej (<https://episodesplatform.eu/>; Lasocki i Orlecka-Sikora, 2016; Leptokarpoulos i in., 2019; Orlecka-Sikora i in., 2020), w ramach epizodu CZORSZTYN. Zgodnie z katalogiem w okresie 25.08.2013–31.10.2023 r. w rejonie Jeziora Czorsztyńskiego zarejestrowano prawie 300 wstrząsów w zakresie M_L od $-0,7$ do $3,2$ (IS EPOS, 2017). Przeprowadzona relokalizacja oraz analizy mechanizmów wstrząsów w odniesieniu do lokalnej budowy geologicznej wskazują, że są to wstrząsy wyzwolone napełnieniem zbiornika (Lizurek, 2017; Białoń i in., 2019). Sejsmiczność taką klasyfikujemy jako antropogeniczną. Przyjmuje się zatem, że wystąpienie zjawisk sejsmicznych zostało przyspieszone przez aktywność ludzką w postaci napełnienia zbiornika wodnego. Jednak, jak sugerują McGarr i in. (2002), wystąpienie wstrząsów wskutek zmiany poziomu wody w zbiorniku jest uwarunkowane obecnością potencjalnie sejsmogenicznych uskokiów, których stan naprężenia jest zbliżony do krytycznego. Warto również zauważyć, że głębokość występowania większości wstrząsów w rejonie Jeziora Czorsztyńskiego (ok. 7–11 km, Białoń i in., 2019) jest zdecydowanie większa niż w przypadku innych sztucznych

⁴ Wartość $M_L = 4,3$ została podana przez Guterch (2006) jako obliczona na podstawie danych ze stacji OJC należącej do sieci PLSN (patrz zał. 1). W pracy Wiejacza i Dębskiego (2009) podano wartość $M_L = 4,6$.

zbiorników wodnych o podobnej, niewielkiej zmienności poziomu wody. Fakty te, a także umiejscowienie Jeziora Czorsztyńskiego na terenie aktywnej struktury tektonicznej, ponad uskokiem pienińskim północnym (Golonka i in., 2019), oraz bliskość aktywnego sejsmicznie Podhala sprawiają, że opisanie tych wstrząsów w niniejszej pracy wydaje się istotne i uzasadnione, a zagadnienie występowania w tym obszarze wstrząsów pochodzenia tektonicznego powinno być traktowane jako otwarte.

MONITORING SEJSMOLOGICZNY POLSKI DANE INSTRUMENTALNE

Szerokopasmowa Polska Sieć Sejsmologiczna PLSN

Pomiary sejsmologiczne na terenie Polski były prowadzone od początku XX w. m.in. w obserwatoriach w Krakowie, Raciborzu, Wrocławiu czy Lwowie (Plesiewicz, Wiszniowski, 2015). Do lat 90. XX w. były to wyłącznie zapisy analogowe, natomiast od początku lat 90. gromadzone są rejestracje cyfrowe. Od 1990 r. pomiary są prowadzone w ramach Polskiej Sieci Sejsmologicznej (PLSN) nadzorowanej przez IGF PAN. Obecnie sieć PLSN składa się z 7 sejsmometrów szerokopasmowych typu Streckeisen STS-2 zlokalizowanych na terenie Polski (czerwone trójkąty na rycinie 2; Rudziński i in., 2021) oraz 1 sejsmometru rejestrującego dane w rejonie Polskiej Stacji Polarnej na wyspie Spitsbergen (Norwegia). Rejestracje sejsmiczne z sieci PLSN są wykorzystywane do detekcji zarówno wstrząsów naturalnych, jak i indukowanych, głównie działalnością górnictwem, na terenie Polski. Ponadto wspomagają one lokalne sieci sejsmiczne. Dane są dostarczane na bieżąco do międzynarodowych organizacji sejsmologicznych (Rudziński i in., 2021).

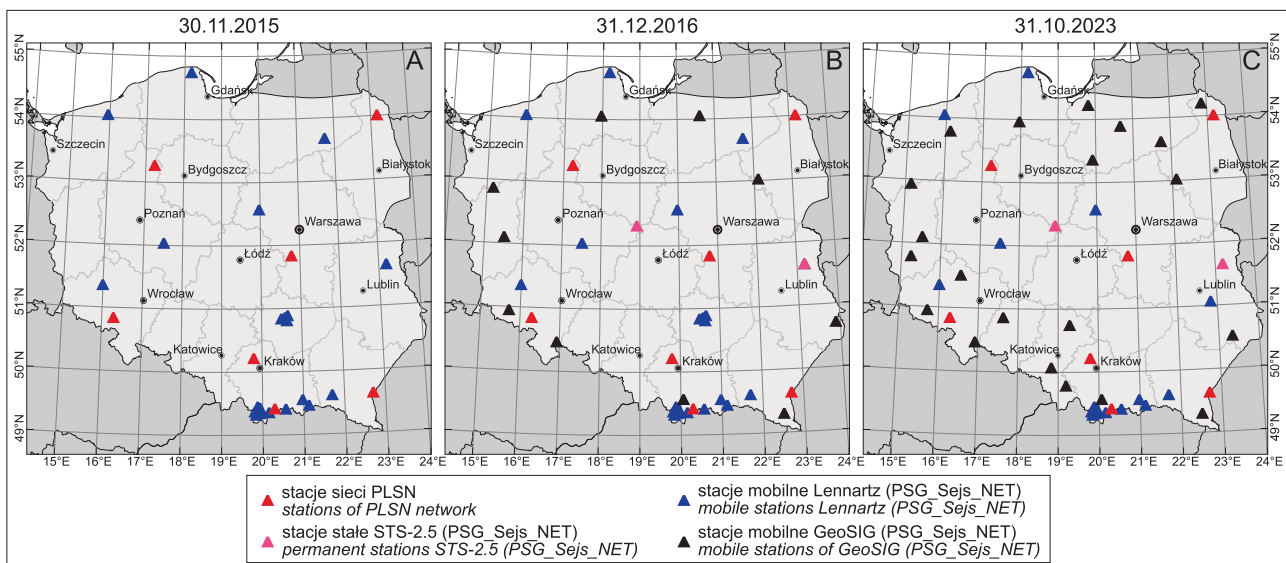
Projekt PASSEQ

Projekt PASSEQ (*PASsive Seismic Experiment in TESZ*) był realizowany w latach 2006–2008 w celu rozpoznania granicy litosfery i astenosfery wokół centralnej części trans-europejskiego szwu tektonicznego. W ramach projektu za-

instalowano 196 tymczasowych stacji sejsmologicznych (49 stacji szerokopasmowych i 147 stacji krótkookresowych) wzdłuż pasa o długości 1200 km i szerokości 400 km przecinającego strefę T-T od Niemiec na SW po Litwę na NE (Wilde-Piórko i in., 2008). Ciągłe dane sejsmiczne były rejestrowane przez 2 lata – od maja 2006 r. do czerwca 2008 r. Późniejsza analiza danych zgromadzonych w ramach eksperymentu PASSEQ pozwoliła na wykrycie jednego wstrząsu pochodzenia tektonicznego, który wystąpił 6.05.2007 r. w okolicy Jarocina na głębokości ok. 4 km (Trojanowski i in., 2012; Polkowski i in., 2016; ryc. 1). Magnituda lokalna tego wstrząsu wynosiła $M_L = 2,8$ (Polkowski i in., 2016).

Projekt Monitoring Zagrożenia Sejsmicznego Obszaru Polski (MZSOP)

Projekt *Monitoring Zagrożenia Sejsmicznego Obszaru Polski* (MZSOP) był realizowany w latach 2008–2012, a jego celem była rejestracja sejsmiczności naturalnej w wybranych rejonach Polski (Trojanowski i in., 2009, 2012, 2015). Do monitoringu wykorzystano 24 krótkookresowe, mobilne stacje sejsmiczne wyposażone w sejsmometry Lennartz LE-3DLite (1 Hz) i rejestratory NDL produkcji IGF PAN. Monitoring był prowadzony w dwóch etapach, podczas których stacje były rozstawione w lokalnych podsieciach. W pierwszym etapie projektu (2008–2010) monitorowano sejsmiczność w rejonie Sudetów i Karpat, natomiast w drugim (2010–2012) monitoring sejsmiczny prowadzono w następujących obszarach: Pomorze zachodnie (okolice Koszalina), Pomorze wschodnie (okolice Żarnowca), Wielkopolska (okolice Jarocina), Mazowsze (okolice Płocka i Łukowa), Góry Świętokrzyskie, Podhale (Trojanowski i in., 2015). Obszary poddane monitoringowi zostały wybrane na podstawie informacji o sejsmiczności historycznej (Guterch, 2009a). W wyniku realizacji projektu MZSOP potwierdzono instrumentalnie występowanie sejsmiczności w rejonie Podhala (81 zlokalizowanych wstrząsów), Beskidu Sądeckiego (okolice Krynicy-Zdroju, 1 wstrząs) oraz w okolicy Jarocina (1 wstrząs o $M_L = 3,8$). Ponadto, zarejestrowano 16 wstrząsów, które wystąpiły



Ryc. 2. Lokalizacja stacji działających w ramach projektu MGP, stan na: A – 30.11.2015 r. (etap I), B – 31.12.2016 r. (koniec etapu I), C – 31.10.2023 r. (etap IV)

Fig. 2. Location of stations operating within GMP project on: A – 30.11.2015 (stage I), B – 31.12.2016 (end of stage I), C – 31.10.2023 (stage IV)

w rejonie Jeziora Czorsztyńskiego (Trojanowski i in., 2012). Występowanie sejsmiczności na obszarze Sudetów i Gór Świętokrzyskich nie zostało natomiast potwierdzone w ramach projektu MZSOP (Trojanowski i in., 2012, 2015).

Projekt Monitoring Geodynamiczny Polski (MGP)

Monitoring sejsmiczności pochodzenia tektonicznego na terenie Polski, prowadzony w ramach projektu *Monitoring Geodynamiczny Polski* (MGP) i realizowany przez IGF PAN we współpracy z PIG-PIB od sierpnia 2013 r., został podzielony na cztery etapy:

- ❑ etap I: 27.08.2013–30.09.2016 r. (w tym etapie projekt był realizowany pod nazwą *Permanentny Monitoring Geodynamiczny Polski*),
- ❑ etap II: 1.03.2018–31.12.2018 r.,
- ❑ etap III: 1.01.2019–31.12.2021 r.,
- ❑ etap IV: 1.01.2022–31.12.2024 r.

W okresie 1.10.2016–28.02.2018 r. monitoring sejsmiczności naturalnej był kontynuowany w IGF PAN, niezależnie od PIG-PIB. Na podstawie danych zarejestrowanych w wymienionych okresach opracowano katalog wstrząsów pochodzenia tektonicznego. Dodatkowo przeanalizowano dane z okresu 1.01.2013–26.08.2013 r., dzięki czemu powstał kompletny katalog sejsmiczności naturalnej obejmujący okres 1.01.2013–31.10.2023 r. (zał. 1). Obecnie we współpracy z PIG-PIB realizowany jest IV etap projektu MGP zapewniający kontynuację monitoringu sejsmiczności naturalnej na terenie Polski do 31.12.2024 r.

Sieć sejsmologiczna o nazwie PSG_Sejs_NET, zainstalowana w ramach projektu MGP, obejmowała początkowo 20 mobilnych stacji wyposażonych w trójskładowe, krótkookresowe sejsmometry Lennartz LE-3DLite (pasma użyteczne 1–80 Hz) oraz rejestratory NDL. Pomocniczo do analizy wykorzystywano dane rejestrowane przez 7 sejsmometrów szerokopasmowych typu Streckeisen STS-2 (pasma użyteczne 120 s – 50 Hz) należących do sieci PLSN (ryc. 2A). W czerwcu 2016 r. rozpoczęto rozbudowę sieci PSG_Sejs_NET o nowe stacje mobilne wyposażone w sejsmometry szerokopasmowe GeoSIG VE-53/BB (pasma użyteczne 8 s – 160 Hz), współpracujące z rejestratorami NDL oraz GeoSIG GMSplus. W tamtym okresie utworzono również dwie nowe stałe stacje monitoringu geodynamicznego w Dziwiu i Hołowni, które zostały wyposażone w sejsmometry szerokopasmowe typu Streckeisen STS-2.5 (pasma użyteczne 120 s – 50 Hz; ryc. 2B). Na początku etapu III (styczeń 2019 r.) sieć PSG_Sejs_NET obejmowała 33 stacje mobilne, w tym 23 stacje krótkookresowe Lennartz oraz 10 stacji szerokopasmowych GeoSIG, 2 stałe stacje szerokopasmowe STS-2.5 oraz pomocniczo 7 stacji szerokopasmowych STS-2 sieci PLSN. W październiku 2023 r. było to już odpowiednio 39 (18 oraz 21), 2 oraz 7 stacji (ryc. 2C). Szczegółowy spis stacji sejsmicznych działających w okresie 2013–2023 w ramach sieci PSG_Sejs_NET przedstawiono w załączniku 3.

W ramach projektu MGP stacje sejsmiczne zostały rozmieszczone mniej więcej równomiernie na terytorium całej Polski (ryc. 2). Zwiększoną liczbę stacji ustawiono w południowej części Polski w rejonie Karpat i Podhala, gdzie częste występowanie naturalnych zjawisk sejsmicznych zostało potwierdzone zarówno historycznie (Guterch, 2009a, 2015), jak i instrumentalnie (Trojanowski i in., 2012, 2015; Plesiewicz, Wiszniewski, 2015). W ten sposób zapewniono możliwość detekcji relatywnie silnych zjawisk ($M_L \geq 3,0$),

które mogą wystąpić w rejonach o udokumentowanej aktywności historycznej (strefa T-T, Sudety, Góry Świętokrzyskie) oraz możliwość detekcji i lokalizacji słabych zjawisk lokalnych ($M_L \geq 0,5$) w rejonie Podhala.

METODYKA OPRAWOWANIA DANYCH

Ciągłe dane sejsmiczne zarejestrowane w ramach projektu MGP przez sieć PSG_Sejs_NET zebrano i zarchiwizowano w systemie SeisComp (<https://www.seiscomp.de/doc/>). Do detekcji i lokalizacji wstrząsów wykorzystano dedykowany, automatyczny system alertowy opracowany na podstawie wbudowanych modułów działających w systemie SeisComp3: 1) modułu detekcji *scoutpick* opartego na algorytmie STA/LTA, 2) modułu lokalizacji *scoutloc*. Parametry systemu alertowego zostały dobrane, tak aby zapewnić jego najlepszą sprawność dla sieci pomiarowej PSG_Sejs_NET. Ponadto dane ciągle rejestrowane przez lokalną sieć sejsmometrów na Podhalu były poddawane bieżącej manualnej analizie w celu wykrycia słabych wstrząsów potencjalnie pominiętych przez system alertowy. Lokalizacja epicentralna tych wstrząsów, ich głębokość oraz czas w ognisku zostały wyznaczone poprzez iteracyjną inwersję czasów przyjscia fal, prędkości i azymutów przy użyciu programu LocSat (Bratt, Bache, 1988; Bratt, Nagy, 1991). Do lokalizacji wstrząsów zastosowano model prędkościowy IASP91 (Kennett, Engdahl, 1991). Jest to model globalny 1D, którego zastosowanie daje wiarygodne wyniki lokalizacji wstrząsów na terenie Polski. Został on również wykorzystany dla rejonu Podhala ze względu na brak lokalnego modelu prędkości w tym obszarze. W przypadku niektórych wstrząsów zlokalizowanych w obszarze pomiędzy Białką Tatrzańską a Jeziorem Czorsztyńskim do wyznaczenia lokalizacji wykorzystano pomocniczo dane ze stacji sieci SENTINELS, dedykowanej do obserwacji sejsmiczności związanej z Jeziorem Czorsztyńskim (IS EPOS, 2017; ryc. 3). Średni błąd lokalizacji epicentralnej wstrząsów wynosi ok. 1 km, natomiast średni błąd wyznaczonej głębokości ognisk wstrząsów to ok. 5 km. Magnituda lokalna (M_L) wstrząsów (Richter, 1935) została wyznaczona poprzez symulację sygnału z sejsmometru Wooda-Andersona i obliczona według wzorów:

$$M_L = \log_{10} A = 1,6 \log_{10} D - 0,15$$

dla odległości epicentralnych $1 \text{ km} \leq D < 200 \text{ km}$, oraz

$$M_L = \log_{10} A + 3,0 \log_{10} D - 3,38$$

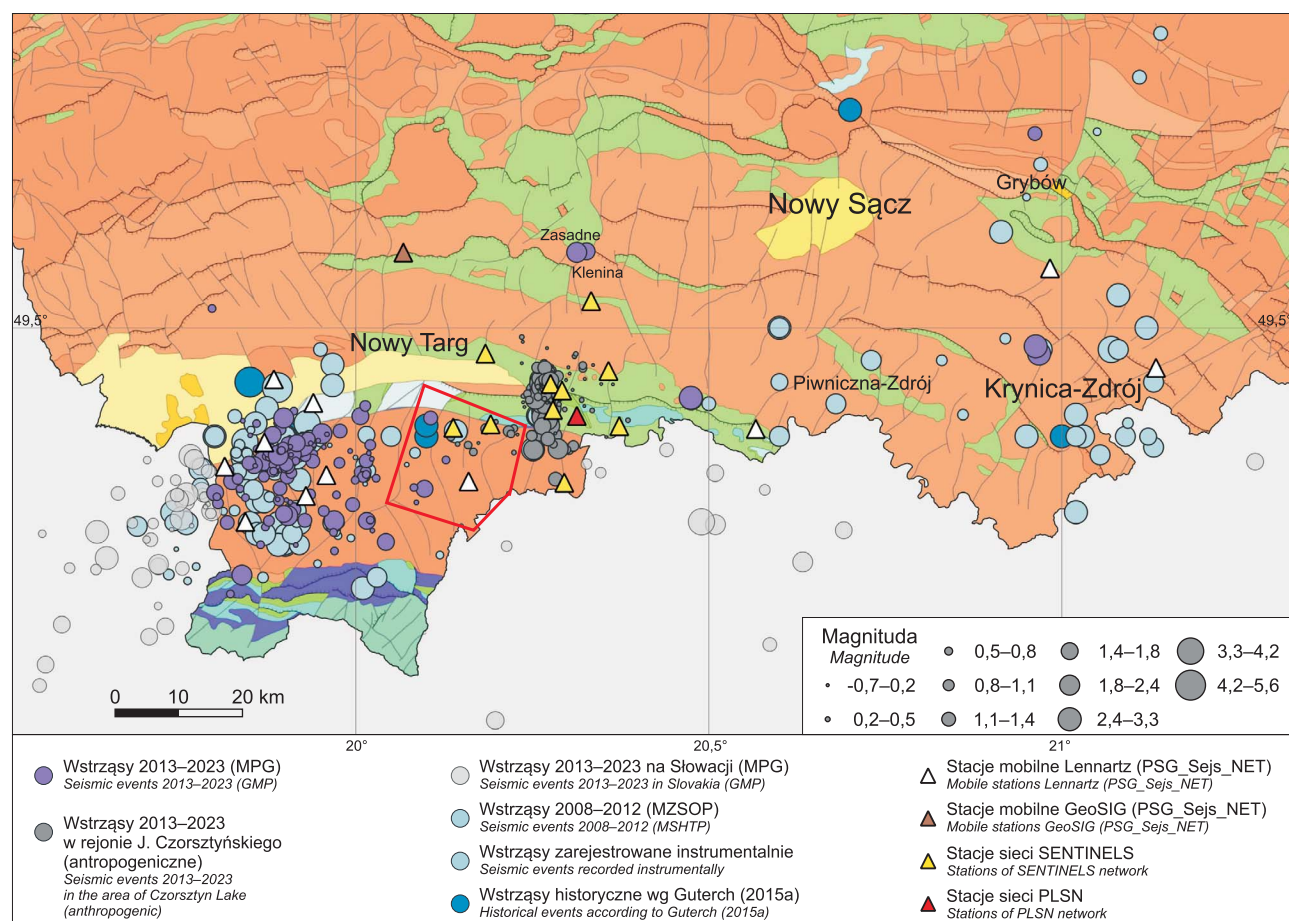
dla odległości epicentralnych $200 \text{ km} \leq D < 600 \text{ km}$, gdzie:

A – maksymalna amplitud [mm] sygnału syntetycznego z sejsmometru Wooda-Andersona,

D – odległość epicentralna.

SEJSMICZNOŚĆ NATURALNA POLSKI W LATACH 2013–2023

W wyniku monitoringu sejsmologicznego Polski w ramach projektu MGP w okresie 1.01.2013–31.10.2023 r. wykryto 148 wstrząsów pochodzenia naturalnego, które mogły być poddane procedurze lokalizacji i wystąpiły na terenie Polski (zał. 1; ryc. 3; ryc. S1–S5 w zał. 4). Spośród nich:



Ryc. 3. Lokalizacja wstrząsów sejsmicznych pochodzenia tektonicznego zarejestrowanych w latach 2013–2023 w ramach projektu MGP (fioletowe punkty, zał. 1) na tle *Mapy Geologicznej Polski 1 : 500 000* bez czwartorzędu (<https://geologia.pgi.gov.pl/mapy/>). Kolorem ciemnoniebieskim oznaczono wstrząsy historyczne skatalogowane na podstawie danych makrosejsmicznych (Guterch, 2015), natomiast kolorem jasnoniebieskim wstrząsy skatalogowane na podstawie danych instrumentalnych (Draber i in., 2000b, 2002, 2003, 2004; Guterch i in., 2000; ESI SAS, 2004; Zuchniak i in., 2005; Guterch, 2007, 2009b, 2015; Wiejacz i in., 2008; Trojanowski i in., 2012, 2015). Kolorem ciemnoszarym oznaczono wstrząsy, które wystąpiły w okresie 1.01.2013–31.10.2023 r. w rejonie Jeziora Czorsztyńskiego i Niedzicy. Są to najprawdopodobniej wstrząsy wywołane napelnieniem Jeziora Czorsztyńskiego i zostały sklasyfikowane jako sejsmiczność antropogeniczna. Na mapie przedstawiono ich lokalizacje wyznaczone głównie przy użyciu danych ze stacji lokalnej sieci SENTINELS (IS EPOS, 2017). Kolorem jasnoszarym oznaczono wstrząsy, które wystąpiły na terenie Słowacji i zostały zarejestrowane przez sieć PSG_Sejs_NET w okresie 2013–2023 (zał. 1). Wielkość punktów jest skalowana do wartości magnitudy (M_L lub M_W , o ile M_L nie była określona). Białymi trójkątami oznaczono stacje mobilne Lennartz należące do sieci PSG_Sejs_NET, natomiast brązowym trójkątami stację mobilną GeoSIG (sieć PSG_Sejs_NET). Żółte trójkąty oznaczają stacje sieci SENTINELS, natomiast czerwonym trójkątami oznaczono stację NIE należącą do sieci PLSN. Czerwona ramka obejmuje obszar pomiędzy Białką Tatrzańską a Jeziorem Czorsztyńskim (Polski Spisz) opisany na str. 526–527

Fig. 3. Tectonic earthquakes recorded in time period 2013–2023 due to the realization of GMP project (purple circles, Appendix 1) against the background of *Geological Map of Poland 1 : 500 000* without Quaternary deposits (<https://geologia.pgi.gov.pl/mapy/>). Historical earthquakes cataloged basing on macroseismic data are marked with dark blue circles (Guterch, 2015), whereas earthquakes cataloged with the use of instrumental data are marked with light blue circles (Draber et al., 2000b, 2002, 2003, 2004; Guterch et al., 2000; ESI SAS, 2004; Zuchniak et al., 2005; Guterch, 2007, 2009b, 2015; Wiejacz et al., 2008; Trojanowski et al., 2012, 2015). Seismic events recorded in the period 1.01.2013–31.10.2023 in the area of Czorsztyn Lake and Niedzica village are marked with dark gray circles. These events were most probably triggered by the impoundment of Czorsztyn Lake and are treated as anthropogenic seismicity. Localizations of these events presented on the map were determined mainly using data from the local stations of SENTINELS network (IS EPOS, 2017). Earthquakes which were registered in the period 2013–2023 by PSG_Sejs_NET network but occurred in Slovakia are marked with light gray circles (Appendix 2). The size of all circles is scaled to the magnitude of events (M_L or M_W – only if M_L was not determined). White triangles represent mobile Lennartz stations of PSG_Sejs_NET network and the brown triangle represents a mobile GeoSIG station of PSG_Sejs_NET network. Yellow triangles denote stations of SENTINELS network, and the red triangle shows the location of NIE station (PLSN network). The area between Białka Tatrzańska and Czorsztyn Lake (Polish Spisz), described on p. 526–527, is denoted with red polygon

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> □ 140 wstrząsów – teren Podhala (Kotlina Orawsko-Nowotarska), □ 2 wstrząsy – rejon Doliny Chochołowskiej (Tatry Regłowe), □ 1 wstrząs – rejon Szczawnicy (Pieniny / Beskid Sądecki), | <ul style="list-style-type: none"> □ 2 wstrząsy – rejon Krynicy-Zdroju (Beskid Sądecki), □ 1 wstrząs – rejon Grybowa (Beskid Niski / Pogórze Rożnowskie i Ciężkowickie), □ 2 wstrząsy – rejon Kamienicy (Gorce). |
|--|---|

Podhale

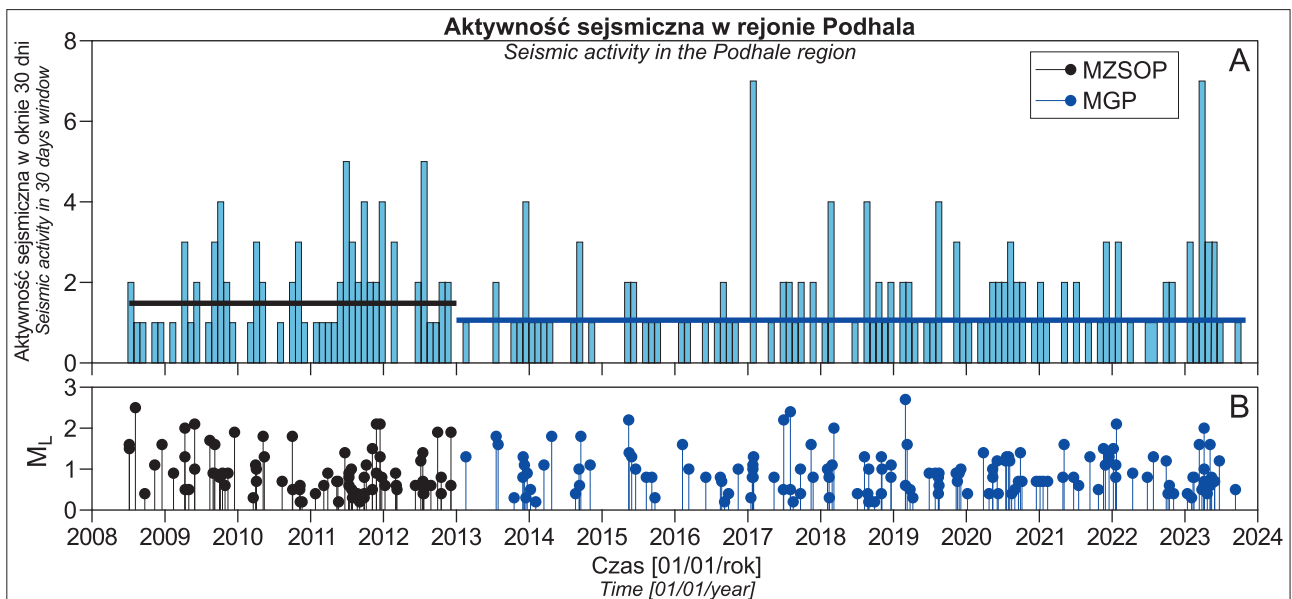
W okresie 1.01.2013–31.10.2023 r. w rejonie Podhala zarejestrowano i zlokalizowano 140 wstrząsów pochodzenia naturalnego o M_L w zakresie 0,2–2,7. Wstrząsy te wystąpiły głównie w obszarze ograniczonym przez Czarny Dunajec na NW i Zakopane na SE (ryc. 3). Aktywność sejsmiczna w rejonie Podhala jest udokumentowana zarówno przez wstrząsy historyczne, o których informacja pochodzi z danych makrosejsmicznych (ciemnoniebieskie punkty na rycinie 3), jak i przez liczne wstrząsy zarejestrowane instrumentalnie (jasnoniebieskie punkty na rycinie 3). W dalszej części pracy wstrząsy zarejestrowane na terenie Podhala w okresie 2013–2023 w ramach projektu MGP zostaną zestawione z sejsmicznością zarejestrowaną w tym rejonie w latach 2008–2012 w ramach MZSOP (Trojanowski i in., 2012, 2015). Wspólna analiza sejsmiczności z tych okresów jest możliwa ze względu na bardzo podobny układ lokalnej sieci monitoringowej oraz niezmienną metodykę opracowywania danych, a zatem zbliżoną czułość detekcji wstrząsów.

Magnituda kompletności obliczona dla łącznego katalogu sejsmicznego z okresu 2008–2023 metodami maksymalnej krzywizny (MAXC, Wiemer, Wyss, 2000; Orlecka-Sikora i in., 2020) oraz zmodyfikowanym testem dobroci dopasowania (MGFT, Leptokarpoulos i in., 2013) wynosi odpowiednio $M_L^C = 0,8$ i $M_L^C = 0,7$. Dla porównania magnituda kompletności obliczona przez Plesiewicz i Wiszniowski (2015) dla okresu 2008–2014 wyniosła $M_C = 0,8$. Otrzymane wyniki są zatem spójne i oznaczają, że stosując podejście konserwatywne sejsmiczność zarejestrowana w okresie 2008–2023 w rejonie Podhala może być analizowana jako jeden kompletny katalog od $M_L^C = 0,8$.

Na rycinie 4A przedstawiono rozkład aktywności sejsmicznej na Podhalu w latach 2008–2023 w 30-dniowym oknie. Na podstawie takiego obrazu można stwierdzić, że w okresie 5.07.2008–31.12.2012 r. średnia aktywność wy-

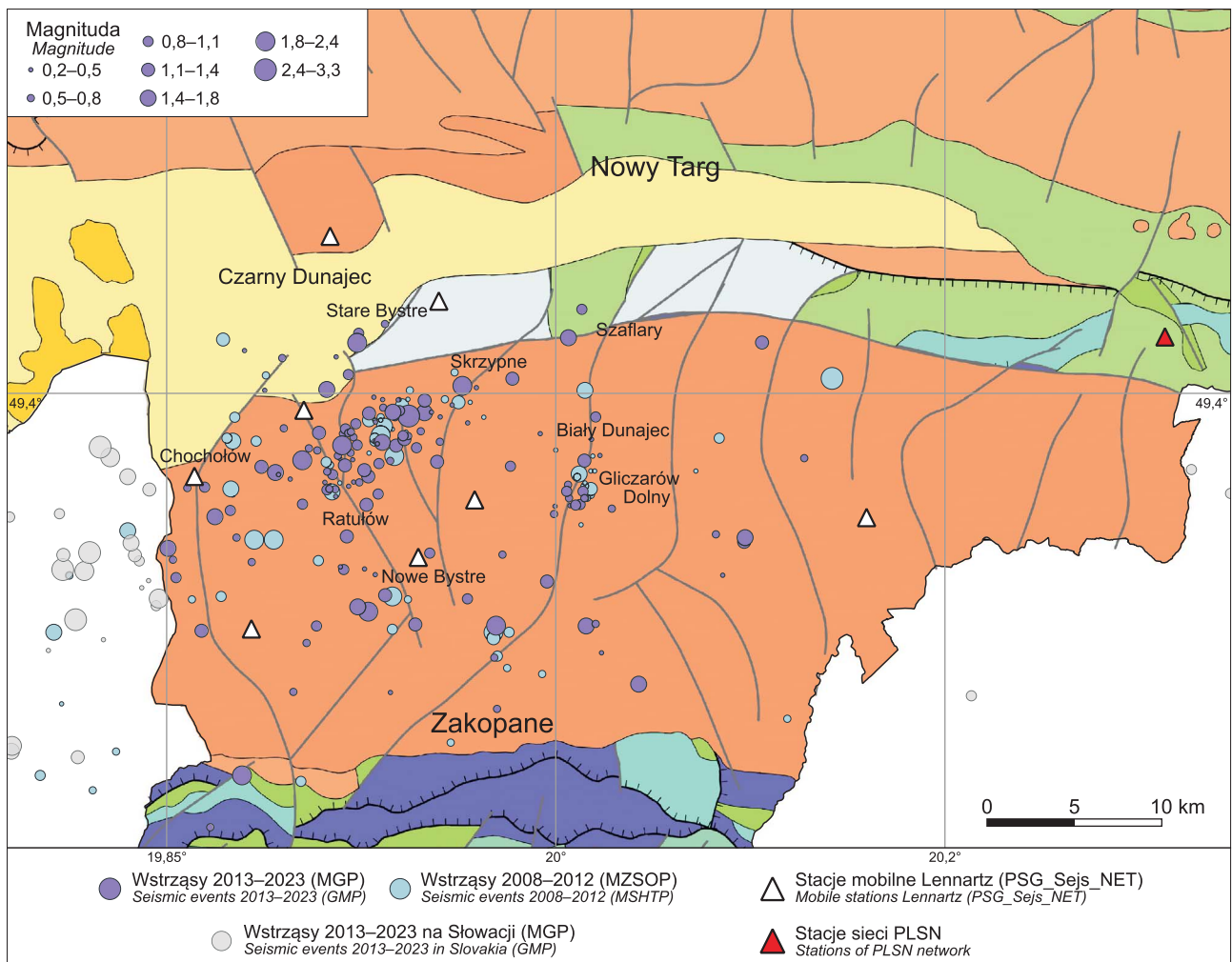
nosząca 1,48 wstrząsu/30 dni była nieznacznie wyższa niż w okresie 1.01.2013–31.10.2023 r. – 1,06 wstrząsu/30 dni. Ponadto widoczne są okresy o wzmożonej aktywności, np. wrzesień–październik 2009 r., lipiec 2011–styczeń 2012 r., lipiec–sierpień 2012 r., styczeń–luty 2017 r., maj–październik 2020 r. czy marzec–maj 2023 r., rozdzielone okresami o relatywnie niższej aktywności. Przedziały czasu, w których nie zarejestrowano żadnego wstrząsu, są szczególnie widoczne w okresie marzec 2013–lipiec 2016 r. (ryc. 4B). Warto zauważyć również, że w wielu przypadkach krótkie okresy ciszy sejsmicznej często poprzedzają wystąpienie relatywnie silnego wstrząsu ($M_L \approx 2$), natomiast okresy o wzmożonej aktywności sejsmicznej charakteryzują się występowaniem licznych wstrząsów o relatywnie niskich magnitudach ($M_L \leq 1$). Średnia aktywność sejsmiczna w całym okresie 2008–2023 wyniosła 1,18 wstrząsu/30 dni.

Lokalizacje wstrząsów z okresów 2008–2012 (MZSOP) i 2013–2023 (MGP) przedstawiono na rycinie 5 odpowiednio kolorami jasnoniebieskim i fioletowym. Widzimy, że główny rejon występowania wstrząsów pokrywa się i obejmuje obszar pomiędzy Starem Bystrem na północy, Zakopanem na południu, Gliczarowem Dolnym na wschodzie i Chochołowem na zachodzie. Można zauważyć, że w latach 2013–2023 wstrząsy rozkładają się w miarę równomiernie wzdłuż osi Skrzypne–Ratułów (kierunek NE–SW), natomiast w okresie 2008–2012 epicentra wstrząsów są zgrupowane w wybranych rejonach. W obu okresach wyraźnie zaznacza się odrębny klaster sejsmiczności w okolicy Białego Dunajca i Gliczarowa Dolnego (ryc. 5). Wstrząsy występują aż do granicy ze Słowacją, jak również poza nią. Niepewność lokalizacji epicentralnej wstrząsów z okresu 2008–2023 wynosi średnio ok. 1 km, natomiast średni błąd wyznaczonej głębokości to ok. 4 km. Histogram głębokości wstrząsów zarejestrowanych na terenie Podhala w okresie 2008–2023 przedstawiono na rycinie 6A. Mediana głębokości występowania wstrząsów w tym czasie to 5 km, przy medianach wynoszących 3,7 oraz 5 km odpowiednio



Ryc. 4. Aktywność sejsmiczna w rejonie Podhala w okresie 2008–2023: **A** – w oknie 30-dniowym, **B** – w funkcji M_L . Ciągłymi liniami na rycinie **A** oznaczono średnie wartości aktywności w oknie 30-dniowym w okresach 5.07.2008–31.12.2012 r. (czarny) i 1.01.2013–31.10.2023 r. (niebieski)

Fig. 4. Seismic activity in Podhale region in time period 2008–2023: **A** – in the time window of 30 days, **B** – in the function of M_L . Solid lines in subfigure **A** denote mean values of seismic activity in the window of 30 days in time periods 5.07.2008–31.12.2012 r. (black) and 1.01.2013–31.10.2023 r. (blue)



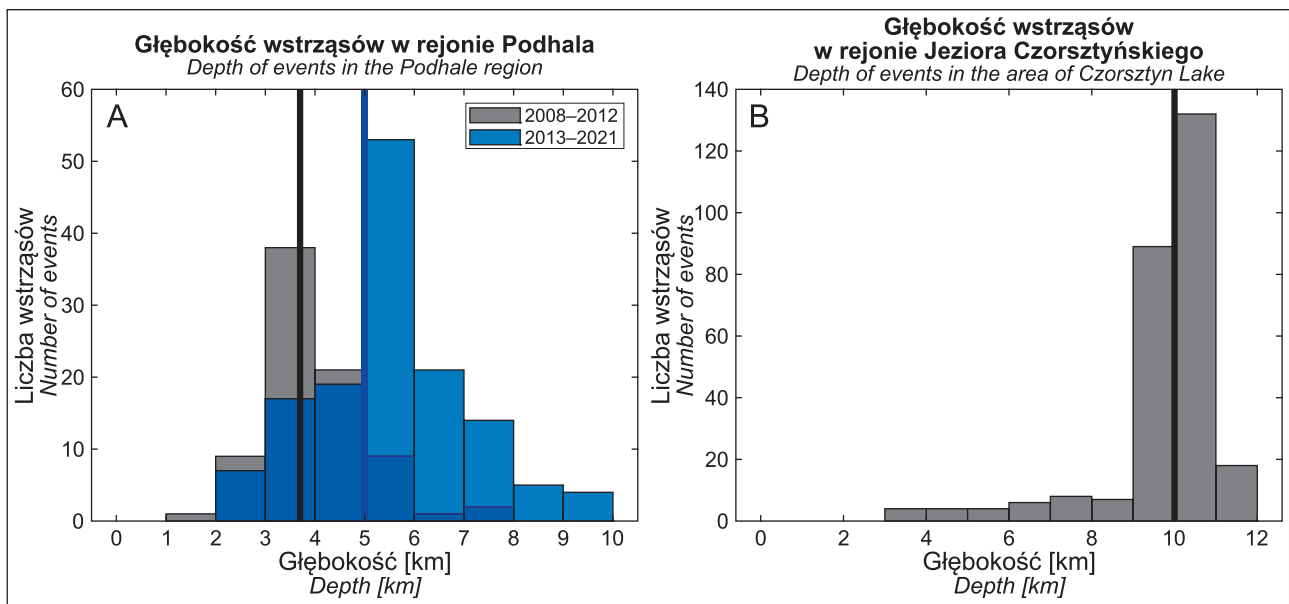
Ryc. 5. Lokalizacja wstrząsów zarejestrowanych na terenie Podhala w okresach 2008–2012 (jasnoniebieskie punkty) oraz 2013–2023 (fioletowe punkty) na tle *Mapy Geologicznej Polski 1 : 500 000* bez czwartorzędu (<https://geologia.pgi.gov.pl/mapy/>). Kolorem jasnoszarym oznaczono wstrząsy, które wystąpiły na terenie Słowacji i zostały zarejestrowane przez sieć PSG_Sejs_NET w okresie 2013–2023. Wielkość punktów jest skalowana do wartości magnitudy M_L . Białymi trójkątami oznaczono mobilne stacje Lennartz sieci PSG_Sejs_NET, natomiast czerwonym trójkątem stację NIE (sieć PLSN)

Fig. 5. Earthquakes recorded in Podhale region in time periods 2008–2012 (light blue circles) and 2013–2023 (purple circles) against the background of *Geological Map of Poland 1 : 500 000* without Quaternary deposits (<https://geologia.pgi.gov.pl/mapy/>). Earthquakes which were registered in the period 2013–2023 by PSG_Sejs_NET network but occurred in Slovakia are marked with light gray circles. The size of all circles is scaled to the local magnitude M_L of events. White triangles represent mobile Lennartz stations of PSG_Sejs_NET network, whereas red triangle shows the location of NIE station (PLSN network)

dla okresów 2008–2012 i 2013–2023. Na rycinie 5 przedstawiono lokalizacje wstrząsów na tle *Mapy Geologicznej Polski w skali 1 : 500 000* bez czwartorzędu (<https://geologia.pgi.gov.pl/mapy/>). Ponadto w załączniku 4 na rycinach S6–S10 zamieszczono lokalizacje wstrząsów na tle map geologicznych na poziomie ścięć 1–5 km p.p.m., sporządzonych na podstawie *Atlasu Geologicznego Polski 1 : 750 000* (Kotański, Buła, 1997; <https://baza.pgi.gov.pl/geoportal/uslugi/gis>). Wiarygodna interpretacja geologiczna prezentowanych wstrząsów nie jest możliwa i nie będzie tu opisywana ze względu na duże niepewności wyznaczonych głębokości ognisk wstrząsów, znaczną zmienność budowy geologicznej z głębokością, a także niepewności dostępnych map ścięć poziomych. Załączone mapy mogą dać jednak ogólny pogląd na związek opisywanej sejsmiczności z geologią rejonu. Podobny tok rozumowania został przyjęty w przypadku wstrząsów opisanych na kolejnych obszarach.

Obszar pomiędzy Białką Tatrzańską a Jeziorem Czorsztyńskim (Polski Spisz)

Jednoznaczne określenie genezy wstrząsów (naturalne czy wyzwolone), które wystąpiły w kierunku na południowy zachód od Jeziora Czorsztyńskiego na obszarze Polskiego Spiszu (obszar zaznaczony czerwoną ramką na rycinie 3), jest niemożliwe tylko na podstawie posiadanych informacji. W swojej pracy Lizurek (2017) wykazał, że mechanizmy wybranych wstrząsów, które wystąpiły w rejonie Jeziora Czorsztyńskiego wskazują na ich wyzwolony charakter. Najdalszy z analizowanych wstrząsów znajdował się w odległości ok. 9,5 km od zbiornika w okolicy wsi Trybsz, a dwa inne w odległości ok. 6 km od zbiornika w rejonie wsi Dursztyn (Lizurek, 2017). Może to oznaczać, że wszystkie wstrząsy obwiedzone na rycinie 3 czerwoną ramką zostały wyzwolone przez napełnienie Jeziora Czorsztyńskiego.



Ryc. 6. Histogramy głębokości wstrząsów zarejestrowanych na terenie Podhala (**A**), w rejonie Jeziora Czorsztyńskiego i Niedzicy (**B**). Ciągłymi liniami na rycinie A oznaczono mediany głębokości wstrząsów w okresach 2008–2012 (kolor czarny) oraz 2013–2023 (kolor niebieski). Histogram **B** sporządzono na podstawie katalogu przygotowanego przy użyciu danych z lokalnej sieci SENTINELS (IS EPOS, 2017)

Fig. 6. Histograms of depth of earthquakes recorded in Podhale region (**A**), in the area of Czorsztyn Lake and Niedzica village (**B**). Solid lines in subfigure A denote median values of depth in time periods 2008–2012 (black) and 2013–2023 (blue). Histogram (**B**) was prepared basing on the catalog prepared using data from the local seismic network SENTINELS (IS EPOS, 2017)

sztyńskiego. Wyjątek stanowią dwa wstrząsy oznaczone kolorem ciemnoniebieskim, które miały miejsce 13.10.1995 r. (Guterch, 2015), a zatem przed rozpoczęciem napełniania zbiornika. W związku z powyższym wstrząsy, które wystąpiły w omówionym obszarze w okresie 2013–2023 zostały zaznaczone w załączniku 1 kolorem niebieskim (nr 43, 61, 91, 126, 142 i 143). Wyznaczone głębokości wymienionych wstrząsów wynoszą 3–8 km i nie różnią się znacząco od głębokości wstrząsów zlokalizowanych na terenie Podhala (ryc. 6A).

Tatry

W opisywanym okresie 2013–2023 zarejestrowano 2 wstrząsy o $M_L = 0,7$ i $M_L = 2,0$, które zostały zlokalizowane na terenie Tatr Regłowych (Solon i in., 2018), w rejonie Doliny Chochołowskiej (ryc. 3, zał. 1). Epicentrum pierwszego wstrząsu z 19.11.2017 r. ($M_L = 0,7$) znajdowało się pomiędzy Jamską Czubą a Spaloną Czubą na głębokości ok. 2 km, natomiast drugiego z 16.02.2019 r. ($M_L = 2,0$) zlokalizowano w okolicy Cisowej Turni, pomiędzy Doliną Chochołowską na zachodzie a Doliną Lejową na wschodzie, na głębokości ok. 3 km. Na terenie polskiej części Tatr zarejestrowano w przeszłości 3 wstrząsy sejsmiczne, wszystkie na obszarze Tatr Regłowych (ryc. 3; Draber i in., 2004; Guterch, 2015; Trojanowski i in., 2015).

Beskid Sądecki

W analizowanym okresie na terenie Beskidu Sądeckiego zarejestrowano dwa wstrząsy o $M_L = 3,3$ i $M_L = 2,9$, które wystąpiły odpowiednio 15.07.2018 r. oraz 16.07.2018 r. w odległości ok. 6 km na N od Krynicy-Zdroju (ryc. 3, zał. 1). Głębokość wstrząsów wynosiła odpowiednio 16 km i 14 km, czyli znacznie więcej niż w przypadku wstrząsów z września 2009 r. (głębokość ok. 5 km) oraz wstrząsów

głównych z 29.06.1992 r. i 1.03.1993 r. (głębokość ok. 3 km; Guterch i in., 2000). Odległość między epicentrami wstrząsów wyniosła jedynie ok. 800 m. Wstrząsy te wystąpiły w odległości ok. 10 km na W od epicentrow wstrząsów głównych z 29.06.1992 r. i 1.03.1993 r. (ryc. 3).

Ponadto na granicy Beskidu Sądeckiego i Pienin zlokalizowano jeden wstrząs o $M_L = 2,7$, który wystąpił w rejonie Szczawnicy 1.04.2014 r. o godz. 09:33:33 na głębokości ok. 5 km (ryc. 3, zał. 1). W dniach 9.04.2014 r. i 10.04.2014 r. zarejestrowano dwa kolejne wstrząsy w tym rejonie, jednak wyznaczenie ich dokładnej lokalizacji nie było możliwe. Ze względu na brak danych o sejsmiczności w rejonie Jeziora Czorsztyńskiego na wystąpienie tych wstrząsów, jednak ich związek z obecnością zbiornika nie był do tej pory rozważany w literaturze.

Beskid Niski / Pogórze Rożnowskie i Pogórze Ciężkowickie

W okresie 2013–2023 zarejestrowano jeden wstrząs o $M_L = 1,4$, który wystąpił w rejonie Grybowa 12.01.2017 r. na głębokości ok. 2 km (ryc. 3, zał. 1). Jego epicentrum znajdowało się ok. 6 km na północ od Grybowa, na linii Grybów–Bobowa, w odległości ok. 10 km od epicentrum wstrząsu głównego z 25.09.2007 r. o $M_W = 2,6$ (Wiejacz i in., 2008; Guterch, 2015).

Gorce

W analizowanym okresie wykryto dwa wstrząsy o $M_L = 1,7$ i $M_L = 2,0$, które wystąpiły odpowiednio 19.04.2018 r. i 11.05.2018 r. na terenie Gorców (zał. 1). Ich epicentra były zlokalizowane ok. 2 km na zachód od miejscowości Kamienica, pomiędzy miejscowościami Zasadne na NNW i Klenia na SSE (ryc. 3). Wstrząsy te wystąpiły na głęboko-

kościach odpowiednio 5 km oraz 2 km. W rejonie tym nie rejestrowano w przeszłości wstrząsów sejsmicznych. Katalog historyczny również nie obejmuje wstrząsów zlokalizowanych w tym rejonie (Guterch, 2009a, 2015).

Rejon Jeziora Czorszyńskiego i Niedzicy – sejsmiczność wywołana

Analizując sejsmiczność naturalną występującą w obszarze PPS i Obniżenia Orawsko-Podhalańskiego, należy odnieść się do wstrząsów, które zostały zarejestrowane i zlokalizowane w rejonie Jeziora Czorszyńskiego i Niedzicy. Wyniki ostatnich prac wskazują, że wstrząsy te zostały wyzwolone napełnianiem zbiornika (Białoń i in., 2015, 2019; Lizurek, 2017), które rozpoczęło w maju 1996 r. (dane udostępnione przez Zespół Elektrowni Wodnych Niedzica S.A.). W analizowanym okresie 1.01.2013–31.10.2023 r. zarejestrowano w tym obszarze 316 wstrząsów o $-0,7 < M_L < 3,3$, głównie za pomocą sieci SENTINELS⁵ (IS EPOS, 2017⁶; ciemnoszare punkty na ryc. 3). Mediana głębokości wstrząsów zarejestrowanych przez sieć wynosi 10 km. Histogram głębokości tych wstrząsów przedstawiono na ryc. 6B.

Najsilniejszy wstrząs o $M_L = 3,3$ wystąpił w rejonie zbiornika 1.03.2013 r. (Guterch, 2015). Obserwowany od listopada 2011 r. wzrost aktywności sejsmicznej jest opóźniony o 14 lat w stosunku do zakończenia napełniania zbiornika, dlatego sejsmiczność tę klasyfikujemy jako opóźnioną, wywołaną wzrostem ciśnienia porowego wskutek podziemnej dyfuzji płynów (Simpson i in., 1988; Białoń i in., 2019). W rejonie Jeziora Czorszyńskiego wstrząsy występują głównie na głębokości 7–11 km i są związane z lokalną budową tektoniczną (Białoń i in., 2019), rozpoznaną w oparciu o zdjęcie sejsmiczne 2D *Czorsztyn* (Dec i in., 2015; Golonka i in., 2019). Na podstawie danych sejsmicznych zidentyfikowano przebieg północnego i południowego uskoku pienińskiego oraz zobrażowano uskoki przecinające flisz podhalański i magurski powstałe w trakcie formowania się PPS. Potwierdzeniem związku sejsmiczności w rejonie Jeziora Czorszyńskiego z budową tektoniczną są mechanizmy wstrząsów, które mają charakter przesuwczy lub normalny ze składową przesuwcą, a płaszczyzny nodalne są zorientowane w kierunkach NNE–SSW i NW–SE (Białoń i in., 2019). Rozwiązania przesuwcze wykazują zgodność z orientacją głównych nieciągłości równoległych do uskoku pienińskiego północnego, jednak wstrząsy nie występują dokładnie na płaszczyznach tych nieciągłości. Może to być związane z niepewnością lokalizacji lub istnieniem nieciągłości równoległych do struktury głównej (Białoń i in., 2019). Wstrząsy wykazujące mechanizm normalny nie zostały dowiązane do nieciągłości zidentyfikowanych na profilach sejsmicznych. Ich wystąpienie może być związane z obecnością podrzędnych nieciągłości, które nie zostały zobrażowane (Białoń i in., 2019). Warto podkreślić, że występowanie wstrząsów wyzwolonych w tym obszarze jednoznacznie potwierdza obecność naprężonych krytycznych uskoczków, na których niewielka zmiana ciśnienia porowego generuje wstrząs sejsmiczny (McGarr i in., 2002; Białoń i in., 2015). Analiza sejsmiczności wywołanej pozwala zatem w tym wypadku

na identyfikację uskoczków będących potencjalnym źródłem sejsmiczności naturalnej w przyszłości. Dane te nie mogą być natomiast wykorzystane do analizy sejsmiczności w czasie, a zatem również do szacowania zagrożenia sejsmicznego związanego wyłącznie ze wstrząsami naturalnymi.

ZAGROŻENIE SEJSMICZNE NA TERENIE POLSKI

Hazard sejsmiczny (zagrożenie sejsmiczne) dla terenu Polski został oszacowany przez Schenka i in. (2000, 2001) na podstawie katalogu wstrząsów z obszarów Czech, Polski i Słowacji. Autorzy opublikowali mapy hazardu w skali intensywności oraz maksymalnego przyspieszenia drgań gruntu (PGA) dla okresów powrotu 475, 1000 i 5000 lat z prawdopodobieństwem przekroczenia otrzymanych wartości wynoszącym 10% (ryc. 7). Hazard został obliczony przy użyciu algorytmu Cornella (1968) i programu EQRISK (McGuire, 1976). Opracowane przez Schenka i in. (2001) mapy wskazują, że największe zagrożenie sejsmiczne na terenie Polski występuje wzdłuż południowej i południowo-zachodniej granicy Polski w Sudetach i Karpatach, oraz w rejonie Gór Świętokrzyskich (ryc. 7). Wartości PGA, które z 90-procentowym prawdopodobieństwem nie zostaną przekroczone w okresach 50 lat (okres powrotu 475 lat), 105 lat (okres powrotu 1000 lat) i 527 lat (okres powrotu 5000 lat) wynoszą odpowiednio ok. 100–130 cm/s^2 , 130–160 cm/s^2 i 160–200 cm/s^2 w Karpatach i zapadisku przedkarpackim oraz ok. 100–130 cm/s^2 , 100–130 cm/s^2 i 130–160 cm/s^2 w Sudetach. W rejonie Gór Świętokrzyskich wartości te wynoszą odpowiednio ok. 70–80 cm/s^2 , 80–100 cm/s^2 i 100–130 cm/s^2 . Dla okresów powrotu 1000 i 5000 lat istotne wartości osiągają również PGA szacowane wzdłuż strefy T-T (odpowiednio ok. 50–60 cm/s^2 i 80–100 cm/s^2) oraz na platformie prekambryjskiej (ok. 60–70 cm/s^2 dla okresu powrotu 5000 lat). Na pozostałym obszarze Polski oszacowana wartość PGA w wymienionych okresach powrotu wynosi $< 30 \text{ cm/s}^2$.

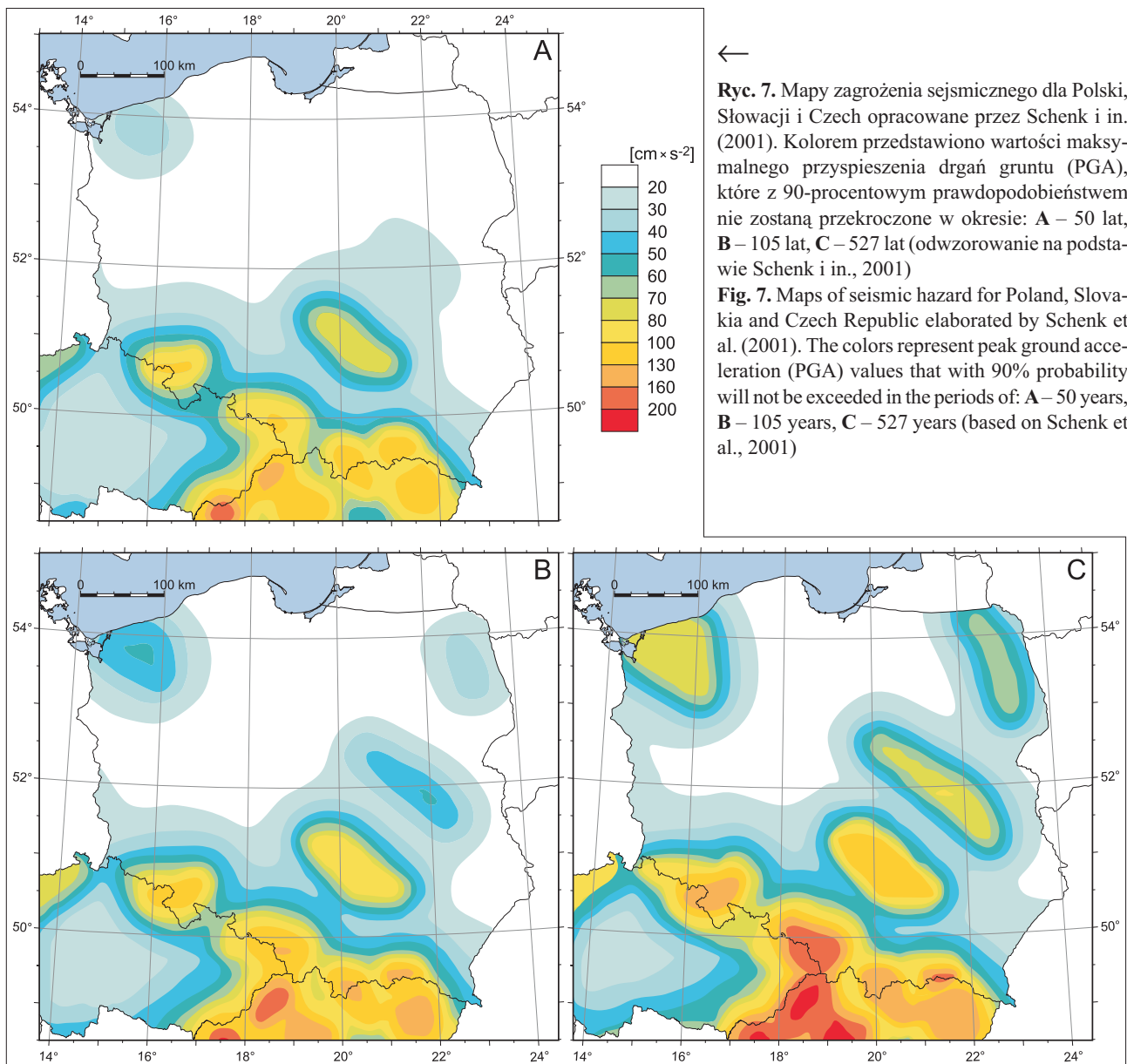
Warto zwrócić uwagę, że opracowane przez Schenka i in. (2001) mapy zagrożenia sejsmicznego nie uwzględniają informacji o istotnych wstrząsach zarejestrowanych po 2001 r., tj. wstrząs na Podhalu z 30.11.2004 r. ($M_L = 4,3$), wstrząs w Królewcu z 21.09.2004 r. ($M_L = 5,0$, $M_L = 5,3$) czy wstrząs z rejonu Jarocina o $M_L = 2,8$ z 6.05.2007 r. i $M_L = 3,8$ z 6.01.2012 r.

PODSUMOWANIE

W niniejszej pracy opisano rejony występowania sejsmiczności pochodzenia tektonicznego na terenie Polski, bazując na katalogach historyczno-instrumentalnych opracowanych przez Guterch (2009a, 2015), danych pochodzących z biuletynów sejsmologicznych (Draber i in., 1998, 2000a, b, 2001, 2002, 2003a, b, 2004; Zuchniak i in., 2005; Guterch, 2007, 2009b, c) oraz wynikach projektu *Monitoring zagrożenia sejsmicznego Polski* (Trojanowski i in., 2012, 2015). Katalog uzupełniono o wstrząsy, które zostały zarejestrowane na terenie Polski w trakcie trwania projektu *Monitoring geodynamiczny Polski* w okresie 1.01.2013–

⁵ Dane o wstrząsach z okresu 1.01.2013–24.08.2013 r., kiedy sieć SENTINELS jeszcze nie działała, zaczerpnięto z zał. 2 do niniejszej pracy. Okres ten obejmuje 44 wstrząsy.

⁶ W pracy uwzględniono wyłącznie te wstrząsy z katalogu IS EPOS (2017), które zostały zlokalizowane w obrębie sieci SENTINELS.



31.10.2023 r. (zał. 1). Wszystkie wstrząsy zarejestrowane i lokalizowane w tym okresie wystąpiły na terenie Karpat w następujących rejonach:

- Podhale: 140 wstrząsów w zakresie $M_L = 0,2-2,7$;
- okolice Doliny Chochołowskiej (Tatry Reglowe): 2 wstrząsy o $M_L = 0,7$ i $M_L = 2,0$;
- okolice Szczawnicy (Pieniny / Beskid Sądecki): 1 wstrząs o $M_L = 2,7$;
- okolice Krynicy-Zdroju (Beskid Sądecki): 2 wstrząsy o $M_L = 3,3$ i $M_L = 2,9$;
- okolice Grybowa (Beskid Niski / Pogórze Rożnowskie / Pogórze Ciężkowickie): 1 wstrząs o $M_L = 1,4$;
- okolice Kamienicy (Gorce): 2 wstrząsy o $M_L = 1,7$ i $M_L = 2,0$.

Lokalizacje epicentrow zarejestrowanych wstrząsów pokrywają się z obszarami, gdzie aktywność sejsmiczna była obserwowana w przeszłości. Wyjątek stanowi rejon Gorców, w którym przed 2018 r. nie obserwowano zjawisk sejsmicznych.

Średnia aktywność sejsmiczna w rejonie Podhala w okresie 2013–2023 wyniosła 1,06 wstrząsu/30 dni i była nieznacznie niższa niż w czasie trwania projektu MZSOP w latach 2008–2012 (1,48 wstrząsu/30 dni). Wyznaczona

magnituda kompletności łącznego katalogu dla rejonu Podhala z okresu 2008–2023 wynosi $M_L^C = 0,8$. W pracy odniesiono się również do sejsmiczności wyzwolonej obecnością Jeziora Czorsztyńskiego, która monitorowana jest za pomocą lokalnej sieci SENTINELS (IS EPOS, 2017). Pomimo iż sejsmiczność ta jest klasyfikowana jako antropogeniczna, jej analiza pozwala na identyfikację krytycznie naprężonych nieciągłości, które w przyszłości mogą stanowić źródło wstrząsów. W okresie 1.01.2013–31.10.2023 r. w rejonie Jeziora Czorsztyńskiego zarejestrowano 316 wstrząsów w zakresie $M_L = -0,7-3,3$.

Na zakończenie w pracy przedstawiono opracowania zagrożenia sejsmicznego na terenie Polski przygotowane przez Schenka i in. (2000, 2001). Wynika z nich, że największe zagrożenie sejsmicznością naturalną w Polsce występuje na terenie Karpat i Sudetów.

Monitoring sejsmiczności pochodzenia tektonicznego na terenie Polski prowadzony w ramach projektu *Monitoring geodynamiczny Polski* w latach 2013–2023 potwierdził istnienie ciągłej, słabej aktywności sejsmicznej na terenie Podhala, a także aktywność struktur tektonicznych w Pieninach, Beskidzie Sądeckim oraz w obszarze granicznym pomiędzy Beskidem Niskim a Pogórzami Rożnow-

skim i Ciężkowickim. Po raz pierwszy zaobserwowano aktywność sejsmiczną na terenie Gorców. W trakcie trwania projektu nie zarejestrowano żadnych wstrząsów naturalnych w innych obszarach Polski (poza Karpatami) wykazujących w przeszłości aktywność sejsmiczną. Prowadzenie dalszego monitoringu sejsmicznego oraz zwiększenie gęstości sieci pozwoli w przyszłości na lepsze rozpoznanie sejsmiczności pochodzenia tektonicznego w Polsce.

Katalog sejsmiczny z okresu 2013–2023 został opracowany przez IGF PAN dla PIG-PIB w ramach projektów finansowanych przez NFOŚiGW: *Permanenty monitoring geodynamiczny Polski – etap I* nr umowy 499/2014/Wn-07/FG-BP-DN/D z dn. 21.07.2014 r., *Monitoring geodynamiczny Polski – etap II* nr umowy 182/2018/Wn-07/FG-GO-DN/D z dn. 10.08.2018 r., *Monitoring geodynamiczny Polski – etap III* nr umowy 138/2019/Wn-07/FG-go-dn/D z dn. 8.05.2019 r. oraz *Monitoring geodynamiczny Polski – etap IV* nr umowy 2771/2022/Wn07/FG-go-dn/D z dn. 24.03.2022 r. z, oraz częściowo dzięki dofinansowaniu z subwencji MEiN dla IGF PAN. Utrzymanie stacji sieci PLSN jest wspierane z projektów SPUB nr 13/E-41/SPUB/SP/2020 oraz 1/599046/SPUB/SP/2024. Artykuł powstał dzięki dofinansowaniu z subwencji MEiN dla IGF PAN. Dziękujemy członkom zespołu technicznego z IGF PAN, którzy przyczynili się do zgromadzenia opisanych danych sejsmicznych: dr. hab. inż. Janowi Wiszniowskiemu, dr. inż. Januszowi Mirkowi, mgr. Mariuszowi Chmielewskiemu oraz mgr. inż. Mieczysławowi Rekowskiemu, a także Zespołowi Elektrowni Wodnych *Niedzica* S.A. za udostępnienie informacji dotyczących napełniania Zbiornika Czorszyńskiego w latach 1996–1997. Szczególne podziękowania kierujemy do dr. Piotra Nescieruka (PIG-PIB) oraz dr. Konstantinosa Leptokarpoulou (The MathWorks, Inc.) za cenną konsultację merytoryczną. Składamy również podziękowania Recenzentom: dr. hab. inż. Piotrowi Krzywcowi (ING PAN) oraz anonimowemu Recenzentowi, za konstruktywną ocenę merytoryczną oraz uwagi wniesione do manuskryptu.

LITERATURA

- BIAŁOŃ W., LIZUREK G., DEC J., CICHOSTĘPSKI K., PIETSCH K. 2019 – Relocation of Seismic Events and Validation of Moment Tensor Inversion for SENTINELS Local Seismic Network. *Pure Appl. Geophys.*, 176: 4701–4728.
- BIAŁOŃ W., ZARZYCKA E., LASOCKI S. 2015 – Seismicity of Czorsztyn lake region: A case of reservoir triggered seismic process? *Acta Geophys.*, 63, doi: 10.1515/acgeo-2015-0026
- BRATT S.R., BACHE T.C. 1988 – Locating events with a sparse network of regional arrays. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 78 (2): 780–798.
- BRATT S.R., NAGY W. 1991 – The LocSAT program, Science Applications International Corporation. San Diego.
- CORNELL C.A. 1968 – Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 58: 1583–1606.
- DEC J., PIETSCH K., GOLONKA J., MARZEC P., CICHOSTĘPSKI K., KASPERSKA M., SIMON-ANDRUSZEWICZ E., SUŁOWSKI W., POLAŃSKI H. 2015 – Określenie budowy geologicznej i właściwości skał w rejonie infrastruktury badawczej ESI-4 w rejonie Niedzicy i ESI-3 w rejonie Polkowic. Raport sporządzony przez Wydz. Geol., Geof. i Ochr. Środ. AGH w Krakowie na zlecenie IGF PAN w ramach projektu POIG.02.03.00-14-090/13-00 „IS-EPOS Cyfrowa Przestrzeń Badawcza Sejsmiczności Indukowanej dla Celów EPOS”. Raport niepublikowany.
- DRABER D., GUTERCH B., LEWANDOWSKA-MARCINIAK H. 1998 – Seismological Bulletin 1989–1990, Local Earthquakes Recorded by Polish Seismological Stations. *Publ. Inst. Geophys., Pol. Acad. Sci.*, B-17 (283).
- DRABER D., GUTERCH B., LEWANDOWSKA-MARCINIAK H. 2000a – Seismological Bulletin 1991–1992, Local Earthquakes Recorded by Polish Seismological Stations. *Publ. Inst. Geophys., Pol. Acad. Sci.*, B-21 (316).
- DRABER D., GUTERCH B., LEWANDOWSKA-MARCINIAK H. 2000b – Seismological Bulletin 1993–1994 – Local Earthquakes Recorded by Polish Seismological Stations. *Publ. Inst. Geophys., Pol. Acad. Sci.*, B-22 (331).
- DRABER D., GUTERCH B., LEWANDOWSKA-MARCINIAK H., NIEWIADOMSKI J. 2001 – Seismological Bulletin 1998, Local Earthquakes Recorded by Polish Seismological Stations. *Publ. Inst. Geophys., Pol. Acad. Sci.*, B-26 (338).
- DRABER D., GUTERCH B., LEWANDOWSKA-MARCINIAK H., NIEWIADOMSKI J. 2002 – Seismological Bulletin 1995–1997, Local Earthquakes Recorded by Polish Seismological Stations. *Publ. Inst. Geophys., Pol. Acad. Sci.*, B-24 (336).
- DRABER D., GUTERCH B., LEWANDOWSKA-MARCINIAK H., NIEWIADOMSKI J. 2003a – Seismological Bulletin 2000, Local Earthquakes Recorded by Polish Seismological Stations. *Publ. Inst. Geophys., Pol. Acad. Sci.*, B-32 (362).
- DRABER D., GUTERCH B., LEWANDOWSKA-MARCINIAK H., NIEWIADOMSKI J. (red.) 2003b – Seismological bulletin 2001, local earthquakes recorded by Polish seismic stations. *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci.*, B-33 (366).
- DRABER D., NIEWIADOMSKI J., ZUCHNIAK M. 2004 – Seismological Bulletin 2002, Local Earthquakes Recorded by Polish Seismological Stations. *Publ. Inst. Geophys., Pol. Acad. Sci.*, B-36 (375).
- ESI SAS (Earth Science Institute of the Slovak Academy of Sciences) 2004 – National Network of Seismic Stations of Slovakia. *Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. Other/Seismic Network*. <https://doi.org/10.14470/FX099882>
- GOLONKA J., KROBICKI M., WAŚKOWSKA A. 2018 – The Pieniny Klippen Belt in Poland. *Geology. Geophys. Environ.*, 44: 111–125.
- GOLONKA J., PIETSCH K., MARZEC P., KASPERSKA M., DEC J., CICHOSTĘPSKI K., LASOCKI S. 2019 – Deep structure of the Pieniny Klippen Belt in Poland. *Swiss J. Geosci.*, 112: 475–506.
- GREGERSEN S., WIEJACZ P., DĘBSKI W., DOMAŃSKI B., ASSINOVSKEYA B., GUTERCH B., MANTYNIEMI P., NIKULIN V.G., PACESA A., PUURA V., ARONOV A.G., ARONOVA T.I., GRÜNTHAL G., HUSEBYE S., SLIAUPA S. 2007 – The exceptional earthquake in Kaliningrad district, Russia, on 21 Sept 2004. *Phys. Earth. Planet. Int.*, 164 (1–2):63–74.
- GUTERCH B. 2006 – Seismic events in the Orawa-Nowy Targ Basin, Western Carpathians, November 30, 2004–December 2005. *Acta Geodyn. Geomater.*, 3: 85–95.
- GUTERCH B. 2007 – Seismological Bulletin 2004 Local Earthquakes Recorded by Polish Seismological Stations. *Publ. Inst. Geophys., Pol. Acad. Sci.*, B-40 (397).
- GUTERCH B. 2009a – Sejsmiczność Polski w świetle danych historycznych. *Prz. Geol.*, 57: 513–520.
- GUTERCH B. 2009b – Seismological Bulletin 2005 Local Earthquakes Recorded by Polish Seismological Stations. *Publ. Inst. Geophys., Pol. Acad. Sci.*, B-41 (399).
- GUTERCH B. 2009c – Seismological Bulletin 2006 Local Earthquakes Recorded by Polish Seismological Stations. *Publ. Inst. Geophys., Pol. Acad. Sci.*, B-42 (410).
- GUTERCH B. 2015 – Seismicity in Poland: Updated Seismic Catalog. [W:] Guterch B., Kozák J. (red.), *Studies of Historical Earthquakes in Southern Poland*, *GeoPlanet. Earth Planet. Sci.*, 3: 75–101.
- GUTERCH B., LEWANDOWSKA-MARCINIAK H., MAZUR M. 2015 – The earthquake in the Outer Western Carpathians, Poland, on December 3, 1786. [W:] Guterch B., Kozák J. (red.), *Studies of historical earthquakes in Southern Poland*, *GeoPlanet. Earth Planet. Sci.*, 1: 1–35.
- GUTERCH B., LEWANDOWSKA-MARCINIAK H., NIEWIADOMSKI J. 2005 – Earthquakes recorded in Poland along the Pieniny Klippen Belt, Western Carpathians. *Acta Geophys. Pol.*, 53: 27–45.
- GUTERCH B., LEWANDOWSKA-MARCINIAK H., LABÁK P., NIEWIADOMSKI J. 2000 – Macroseismic data of seismic events in 1992–1993, Krynica region, Western Carpathians. *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci.*, B-21 (316): 133–147.
- GUTERCH A., WYBRANIEC S., GRAD M., CHADWICK R., KRAWCZYK C., ZIEGLER P., DE VOS W., THYBO H. 2010 – Crustal structure and structural framework. [W:] Doornenbal J., Stevenson A. (red.), *Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area*. Houten: EAGE Publ., 11–23. <https://baza.pgi.gov.pl/> <https://baza.pgi.gov.pl/geoportal/uslugi/gis> <https://episodesplatform.eu/> <https://geologia.pgi.gov.pl/mapy/> <https://www.seiscomp.de/doc/>
- IS EPOS 2017 – Episode: CZORSZTYN, doi: 10.25171/InstGeoph_PAS_ISEPOS-2017-004, available at <https://tcs.ah-epos.eu/#episode:CZORSZTYN> (last accessed February 2021).
- KÁRNIK V., MICHAL E., MOLNAR A. 1958 – Erdbebenkatalog der Tschechoslowakei bis zum Jahre 1956, *Geofyzikalni Sbornik 1957*. Travaux de l’Institut Geophysique de l’Academie Tchecoslovaque des Sciences, 69: 411–631.
- KENNETT B.L.N., ENGDAHL E.R. 1991 – Traveltimes for global earthquake location and phase identification. *Geophys. J. Intern.*, 105 (2): 429–465.
- KOTAŃSKI Z., BUŁA Z. 1997 – Atlas geologiczny Polski: mapy geologiczne ścięcia poziomego: 1 : 750 000. Wydaw. Kartograf. PAE, Warszawa.
- KRZYWIEC P. 2002 – Mid-Polish Trough inversion – seismic examples, main mechanisms and its relationship to the Alpine – Carpathian coll-

- sion. [W:] Bertotti G., Schulmann K., Cloetingh S. (red.), Continental Collision and the Tectosedimentary Evolution of Forelands. Europ. Union Geosci., Stephan Mueller Spec. Publ. Ser., 1: 151–165.
- KRZYWIEC P. 2006 – Structural inversion of the Pomeranian and Kuiaivian segments of the Mid-Polish Trough – lateral variations in timing and structural style. *Geol. Quart.*, 51 (1): 151–168.
- KRZYWIEC P., KUFRASA M., POPRAWA P., MAZUR S., KOPERSKA M., ŚLEMP P. 2022 – Together but separate: decoupled Variscan (late Carboniferous) and Alpine (Late Cretaceous–Paleogene) inversion tectonics in NW Poland. *Solid Earth*, 13: 639–658.
- LASKA W. 1902 – Die Erdbeben Polens, Mittheilungen der Erdbeben Commission, Keis. Ak. d. Wiss. in Wien, Wien, 8: 1–36.
- LASOCKI S. 2005 – Probabilistic analysis of seismic hazard posed by mining induced events, Controlling Seismic Risk, Proc. Sixth International Symposium on Rockburst and Seismicity in Mines (RaSiM6), Perth, Australia, Potvin Y., Hudyma M. (red.), Australian Centre for Geomechanics, Nedlands, Australia, 9–11 March, 151–156, doi: 10.36487/ACG_repo/574_11
- LASOCKI S., ORLECKA-SIKORA B. 2016 – Integrated approach to geophysical hazards induced by exploration and exploitation of georesources – to facilitate the way of attaining excellence. *EPOS Newsletter*, 1 (03): 1–5.
- LEPTOKAROPOULOS K., KARAKOSTAS V., PAPADIMITRIOU E., ADAMAKI A., TAN O., INAN S. 2013 – A homogeneous earthquake catalogue compilation for western Turkey and magnitude of completeness determination. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 103 (5): 2739–2751.
- LEPTOKAROPOULOS K., CIELESTA S., STASZEK M., OLSZEWSKA D., LIZUREK G., KOCOT J., LASOCKI S., ORLECKA-SIKORA B., STERZEL M., SZEPIENIEC T. 2019 – IS-EPOS: a platform for anthropogenic seismicity research. *Acta Geophys.*, 67 (1): 299–310, <https://doi.org/10.1007/s11600-018-0209-z>
- LIZUREK G. 2017 – Full Moment Tensor Inversion as a Practical Tool in Case of Discrimination of Tectonic and Anthropogenic Seismicity in Poland. *Pure and Appl. Geophys.*, 174: 197–212.
- LIZUREK G., PLESIEWICZ B., WIEJACZ P., WISZNIOWSKI J., TROJANOWSKI J. 2013 – Seismic event near Jarocin (Poland). *Acta Geophys.*, 61: 26–36.
- MAZUR S., MIKOŁAJCZAK M., KRZYWIEC P., MALINOWSKI M., BUFFENMYER V., LEWANDOWSKI M. 2015 – Is the Teisseyre-Tornquist Zone an ancient plate boundary of Baltica? *Tectonics*, 34: 2465–2477.
- MAZUR S., KRZYWIEC P., MALINOWSKI M., LEWANDOWSKI M., ALEKSANDROWSKI P., MIKOŁAJCZAK M. 2017 – Tektoniczne znaczenie strefy Teisseyre’a-Tornquista w świetle nowych badań. *Prz. Geol.*, 65 (12): 1511–1520.
- McGARR A., SIMPSON D., SEEGER L. 2002 – 40 Case Histories of Induced and Triggered Seismicity. *Inter. Geophys.*, 81 (A): 647–661.
- McGUIRE, R.K. 1976 – FORTRAN computer program for seismic risk analysis. *Open-File Report*, 76–67.
- NARKIEWICZ M., DADLEZ R. 2008 – Geologiczna regionalizacja Polski – zasady ogólne i schemat podziału w planie podkenozoicznym i podpermskim. *Prz. Geol.*, 56: 391–397.
- NARKIEWICZ M., MAKSYM A., MALINOWSKI M., GRAD M., GUTERCH A., PETECKI Z., PROBUSKI J., JANIK T., MAJDAŃSKI M., ŚRODA P., CZUBA W., GACZYŃSKI E., JANKOWSKI L. 2015 – Transcurrent nature of the Teisseyre-Tornquist Zone in Central Europe: results of the POLCRUST-01 deep reflection seismic profile. *Intern. J. Earth Sci.*, 104 (3): 775–796.
- ORLECKA-SIKORA B., LASOCKI S., KOCOT J., SZEPIENIEC T., GRASSO J.R., GARCIA-ARISTIZABAL A., SCHAMING M., URBAN P., JONES G., STIMPSON I., DINEVA S., SAŁEK P., LEPTOKAROPOULOS K., LIZUREK G., OLSZEWSKA D., SCHITTBUEHL J., KWIAŁEK G., BLANKE A., SACCOROTTI G., CHODZIŃSKA K., RUDZIŃSKI Ł., DOBRZYCKA I., MUTKE G., BARAŃSKI A., PIERZYNA A., KOZLOVSKAYA E., NEVALAINEN J., KINSCHER J., SILENY J., STERZEL M., CIELESTA S., FISCHER T. 2020 – An open data infrastructure for the study of anthropogenic hazards linked to georesource exploitation. *Scientific Data*, 7 (1): 89; <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0429-3>
- PAGACZEWSKI J. 1972 – Catalogue of earthquakes in Poland in 1000–1970 years. *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci.*, 51: 3–36.
- PLESIEWICZ B., WISZNIOWSKI J. 2015 – Seismicity of the Polish part of the Western Carpathians in the light of recent data. [W:] Guterch B., Kozak J. (red.), *Studies of Historical Earthquakes in Southern Poland*. GeoPlanet. Earth Planet. Sci., 4: 103–118.
- POLKOWSKI M., PLESIEWICZ B., WISZNIOWSKI J., WILDE-PIÓRKO M., PASSEQ Working Group 2016 – Local Seismic Events in the Area of Poland Based on Data from the PASSEQ 2006–2008 Experiment. *Acta Geophys.*, 64 (6): 2092–2113.
- RICHTER C.F. 1935 – An instrumental earthquake magnitude scale. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 25 (1): 1–32.
- RUDZIŃSKI Ł., LASOCKI S., ORLECKA-SIKORA B., WISZNIOWSKI J., OLSZEWSKA D., KOKOWSKI J., MIREK J. 2021 – Integrating Data under the European Plate Observing System from the Regional and Selected Local Seismic Networks in Poland. *Seismol. Res. Lett.*, 92: 1717–1725.
- SCHENK V., SCHENKOVÁ Z., KOTTNAURER P., GUTERCH B., LABÁK P. 2000 – Earthquake Hazard for the Czech Republic, Poland and Slovakia – Contribution to the ILC/IASPEI Global Seismic Hazard Assessment Program. *Natural Hazard*, 21: 331–345.
- SCHENK V., SCHENKOVÁ Z., KOTTNAURER P., GUTERCH B., LABÁK P. 2001 – Earthquake hazard maps for the Czech Republic, Poland and Slovakia. *Acta Geophys. Pol.*, 49: 287–302.
- SIMPSON D.W., LEITH S.W., SCHOLZ H.C. 1988 – Two types of reservoir induced seismicity. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 78 (6): 2025–2040.
- SOŁON J., BORZYSZKOWSKI J., BIDAŁSIK M., RICHLING A., BADORA K., BALON J., BRZEZIŃSKA-WÓJCIK T., CHABUDZIŃSKI Ł., DOBROWOLSKI R., GRZEGORCZYK I., JODŁOWSKI M., KISTOWSKI M., KOT R., KRAŻ P., LECHNIO J., MACIAS A., MAJCHROWSKA A., MALINOWSKA E., MIGOŃ P., MYGA-PIĄTEK U., NITA J., PAPIŃSKA E., RODZIK J., STRZYŻ M., TERPIŁOWSKI S., ZIAJA W. 2018 – Physico-geographical mesoregions of Poland: verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary spatial data. *Geograph. Pol.*, 91 (2): 143–170.
- STEC K. 2007 – Characteristics of seismic activity of the Upper Silesian Coal Basin in Poland. *Geophys. J. Intern.*, 168 (2): 757–768.
- STUPNICKA E., STEMPIEN-SAŁEK M. 2016 – *Geologia regionalna Polski*. Wydaw. UW, Warszawa.
- TOKARSKI A.K., ZUCHNIEWICZ W. 1998 – Fractured clasts in the Domański Wierch series. Contribution to structural evolution of the Orava Basin (Carpathians, Poland) during Neogene through Quaternary times. *Prz. Geol.*, 46 (1): 62–66.
- TROJANOWSKI J., PLESIEWICZ B., GUTERCH A., GRAD M. 2009 – Monitoring zagrożenia sejsmicznego obszaru Polski. *Prz. Geol.*, 57 (2): 133–137.
- TROJANOWSKI J., PLESIEWICZ B., WISZNIOWSKI J., SUCHCICKI J., TOKARZ A. 2012 – Monitoring zagrożenia sejsmicznego obszaru Polski – okres realizacji 2008–2012. Raport końcowy z realizacji projektu „Monitoring Zagrożenia Sejsmicznego Obszaru Polski” zrealizowanego przez IGF PAN na podstawie umowy nr 445/2007/Wn-07/FG-bp-tx/D zawartej z MŚ oraz NFOŚiGW. Raport niepublikowany.
- TROJANOWSKI J., PLESIEWICZ B., WISZNIOWSKI J. 2015 – Seismic monitoring of Poland – temporary Seismic Project with mobile Seismic Network. *Acta Geophys.*, 63 (1): 17–44.
- WIEJACZ P. 2006 – The Kaliningrad earthquakes of September 21, 2004. *Acta Geodyn. Geomater.*, 3 (2) (142): 7–16.
- WIEJACZ P., DĘBSKI W. 2009 – Podhale, Poland, earthquake of November 30, 2004. *Acta Geophys.*, 57 (2): 346–366.
- WIEJACZ P., DĘBSKI W., KOTWICKI A., RUDZIŃSKI Ł. 2008 – Microearthquakes near Grybów, Poland, Western Carpathians. *ESC2008* – poster.
- WIEJACZ P., RUDZIŃSKI Ł. 2010 – Seismic event of January 22, 2010 near Bełchatów, Poland. *Acta Geophys.* 58 (6): 988–994.
- WIEMER S., WYSS M. 2000 – Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: Examples from Alaska, the Western United States, and Japan. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 90: 859–869.
- WILDE-PIÓRKO M., GEISSLER W.H., PLOMEROVÁ J., GRAD M., BABUŠKA V., BRŮČEK E., CYZIENE J., CZUBA W., ENGLAND R., GACZYŃSKI E., GAZDOVA R., GREGERSEN S., GUTERCH A., HANKA W., HEGEDŮS E., HEUER B., JEDLIČKA P., LAZASKIENE J., RANDY KELLER G., KIND R., KLINGE K., KOLINSKY P., KOMMINAHO K., KOZLOVSKAYA E., KRÜGER F., LARSEN T., MAJDAŃSKI M., MÁLEK J., MOTUZA G., NOVOTNÝ O., PIETRASIAK R., PLENEFISCH Th., RŮŽEK B., SLIAUPA S., ŚRODA P., ŚWIECZAK M., TIIRA T., VOSS P., WIEJACZ P. 2008 – PASSEQ 2006–2008: Passive Seismic Experiment in Trans – European Suture Zone. *Stud. Geophys. Geod.*, 52: 439–448.
- ŻEŁAŃNIEWICZ A., ALEKSANDROWKI P., BUŁA Z., KARKOWSKI P.H., KONON A., OSZCZYPKO N., ŚLĄCZKA A., ŻABA J., ŻYTKO K. 2011 – Regionalizacja tektoniczna Polski. Komitet Badań Naukowych PAN.
- ZUCHNIEWICZ W., TOLARSKI A.K., JAROSIŃSKI M., MÁTRON E. 2002 – Late Miocene to present day structural development of the Polish segment of the Outer Carpathians. *EGU Stephan Mueller Spec. Publ.*, 3: 185–202.
- ZUCHNIAK M., NIEWIADOMSKI J., GUTERCH B. 2005 – *Seismological Bulletin 2003. Local Earthquakes Recorded by Polish Seismological Stations*. *Publ. Inst. Geophys., Pol. Acad. Sci.*, B-37 (376).

Załącznik 1. Tabela przedstawiająca katalog wstrząsów naturalnych zarejestrowanych w okresie 01.01.2013–31.10.2023 r. przez stacje sieci PSG_Sejs_NET. Podane lokalizacje oraz magnitudy wstrząsów zostały wyznaczone przy użyciu danych zarejestrowanych przez sieć PSG_Sejs_NET. Kolorem niebieskim oznaczono wstrząsy o niejednoznacznej genezie, które wystąpiły w obszarze pomiędzy Białką Tatrzańską a Jeziorem Czorsztyńskim, na terenie Polskiego Spiszu.

Appendix 1. The catalog of natural earthquakes registered in the period 01.01.2013–31.10.2023 by the stations of PSG_Sejs_NET network. Locations and magnitudes of events given in the table were determined using data registered by PSG_Sejs_NET network. Seismic events with ambiguous origin, which occurred in the area between Białka Tatrzańska and Czorsztyń Lake (Polish Spisz), are marked with blue.

Lp. No.	Rok Year	Miesiąc Month	Dzień Day	Godzina Hour	Minuta Minute	Sekunda Second	Szerokość geogr. [°] N Latitude [°] N	Długość geogr. [°] E Longitude [°] E	Głębokość [km] Depth [km]	M _L M _L	Region Region	Źródło danych Data source
1	2013	2	17	7	37	20,1	49.3324	19.9123	5	1,3	Podhale	Baza danych IGF PAN ¹ Database of IG PAS ¹
2	2013	7	19	0	54	25,0	49.3587	19.8248	3	1,8	Podhale	Baza danych IGF PAN Database of IG PAS
3	2013	7	28	20	16	46,2	49.3481	19.8007	3	1,6	Podhale	Baza danych IGF PAN Database of IG PAS
4	2013	10	17	0	24	29,9	49.3937	19.9155	5	0,3	Podhale	MGP ² – etap I GMP ² – stage I
5	2013	11	29	22	11	18,2	49.3683	19.8106	4	0,8	Podhale	MGP – etap I GMP – stage I
6	2013	12	1	7	13	42,8	49.3627	19.9027	3	1,3	Podhale	MGP – etap I GMP – stage I
7	2013	12	7	15	25	37,2	49.3663	19.9087	4	1,1	Podhale	MGP – etap I GMP – stage I
8	2013	12	15	4	1	3,1	49.3713	19.8635	3	0,3	Podhale	MGP – etap I GMP – stage I
9	2013	12	21	15	16	44,2	49.3686	19.8195	3	0,9	Podhale	MGP – etap I GMP – stage I
10	2014	1	7	2	47	35,0	49.3979	19.9110	4	0,5	Podhale	MGP – etap I GMP – stage I
11	2014	2	2	13	34	31,9	49.3865	19.9920	3	0,2	Podhale	MGP – etap I

¹ Instytut Geofizyki Polskiej Akademii Nauk (Institute of Geophysics of Polish Academy of Sciences)

² projekt „Monitoring Geodynamiczny Polski” (“Geodynamic Monitoring of Poland” project)

Lp. No.	Rok Year	Miesiąc Month	Dzień Day	Godzina Hour	Minuta Minute	Sekunda Second	Szerokość geogr. [°] N Latitude [°] N	Długość geogr. [°] E Longitude [°] E	Głębokość [km] Depth [km]	M_L M_L	Region Region	Źródło danych Data source
												<i>GMP – stage I</i>
12	2014	3	15	13	34	4,1	49.3465	19.9352	2	1,1	Podhale	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
13	2014	4	1	9	33	33,4	49.4355	20.4745	5	2,7	Szczawnica	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
14	2014	4	23	9	34	26,0	49.3935	19.9325	3	1,8	Podhale	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
15	2014	8	20	21	49	29,0	49.3624	20.0073	3	0,4	Podhale	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
16	2014	9	7	10	43	53,9	49.3827	19.8979	4	1,0	Podhale	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
17	2014	9	9	21	2	27,0	49.3649	20.0068	3	0,6	Podhale	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
18	2014	9	16	15	10	22,6	49.3221	20.0156	2	1,8	Podhale	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
19	2014	11	2	7	43	40,6	49.3921	20.0205	3	1,1	Podhale	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
20	2015	5	14	9	44	11,7	49.3776	19.8697	5	2,2	Podhale	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
21	2015	5	16	15	5	51,4	49.3825	19.9179	4	1,4	Podhale	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
22	2015	5	29	10	50	58,1	49.3847	19.9222	4	1,3	Podhale	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
23	2015	6	18	6	5	29,6	49.3628	20.0125	3	1,0	Podhale	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
24	2015	8	10	18	52	25,5	49.3694	20.0063	2	0,8	Podhale	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
25	2015	9	7	9	32	23,7	49.3816	19.8731	4	0,8	Podhale	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
26	2015	9	23	1	10	33,8	49.3622	19.9996	2	0,3	Podhale	MGP – etap I

Lp. No.	Rok Year	Miesiąc Month	Dzień Day	Godzina Hour	Minuta Minute	Sekunda Second	Szerokość geogr. [°] N Latitude [°] N	Długość geogr. [°] E Longitude [°] E	Głębokość [km] Depth [km]	M_L M_L	Region Region	Źródło danych Data source
												<i>GMP – stage I</i>
27	2016	2	8	1	28	2,4	49.4186	20.0065	6	1,6	Podhale	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
28	2016	3	10	19	9	18,2	49.4281	20.0134	2	1,0	Podhale	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
29	2016	6	3	23	54	1,2	49.3857	19.9241	4	0,8	Podhale	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
30	2016	8	15	23	24	28,5	49.3679	19.8866	3	0,8	Podhale	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
31	2016	8	22	14	16	14,6	49.3228	20.0205	5	0,7	Podhale	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
32	2016	9	6	2	41	46,3	49.3901	19.9547	5	0,2	Podhale	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
33	2016	9	25	23	18	31,0	49.4010	19.8504	8	0,4	Podhale	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
34	2016	11	13	9	21	55,3	49.3629	19.8698	6	1,0	Podhale	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
35	2017	1	12	2	36	45,5	49.6783	20.9619	2	1,4	Grybów	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
36	2017	1	16	1	0	14,4	49.4122	19.8871	7	0,3	Podhale	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
37	2017	1	23	0	40	27,7	49.3873	19.9306	7	0,8	Podhale	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
38	2017	1	25	23	16	3,9	49.3765	19.9091	5	1,1	Podhale	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
39	2017	1	26	3	5	6,0	49.3410	19.8910	9	1,0	Podhale	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
40	2017	1	27	4	57	27,0	49.3838	19.9404	6	0,8	Podhale	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
41	2017	1	28	18	47	21,6	49.3722	19.9036	5	1,3	Podhale	Baza danych IGF PAN

Lp. No.	Rok Year	Miesiąc Month	Dzień Day	Godzina Hour	Minuta Minute	Sekunda Second	Szerokość geogr. [°] N Latitude [°] N	Długość geogr. [°] E Longitude [°] E	Głębokość [km] Depth [km]	M_L M_L	Region Region	Źródło danych Data source
												<i>Database of IG PAS</i>
42	2017	1	29	21	15	24,5	49.3771	19.9390	5	1,3	Podhale	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
43	2017	5	12	1	0	10,7	49.3783	20.1277	7	0,8	Podhale	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
44	2017	6	27	22	10	31,2	49.3419	19.8893	9	0,5	Podhale	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
45	2017	6	29	15	44	36,5	49.3222	19.9693	5	2,2	Podhale	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
46	2017	8	2	0	0	21,0	49.3269	19.9036	5	2,4	Podhale	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
47	2017	8	2	4	35	22,3	49.3393	19.9072	6	0,5	Podhale	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
48	2017	8	16	2	20	4,6	49.3841	19.9069	6	0,2	Podhale	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
49	2017	9	21	12	49	56,5	49.3728	19.8853	5	1,0	Podhale	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
50	2017	9	21	20	26	5,1	49.3702	19.8813	6	0,4	Podhale	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
51	2017	11	13	20	1	18,9	49.3735	19.8559	4	1,6	Podhale	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
52	2017	11	19	21	20	29,3	49.2546	19.8224	2	0,7	Tatry	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
53	2017	11	23	23	17	18,7	49.3809	19.8774	5	0,8	Podhale	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
54	2018	2	3	23	39	20,3	49.3677	19.8824	10	1,0	Podhale	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
55	2018	2	11	20	49	31,5	49.3865	19.8906	6	0,8	Podhale	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
56	2018	2	13	2	32	26,2	49.3782	19.8890	7	0,3	Podhale	Baza danych IGF PAN

Lp. No.	Rok Year	Miesiąc Month	Dzień Day	Godzina Hour	Minuta Minute	Sekunda Second	Szerokość geogr. [°] N Latitude [°] N	Długość geogr. [°] E Longitude [°] E	Głębokość [km] Depth [km]	M_L M_L	Region Region	Źródło danych Data source
												<i>Database of IG PAS</i>
57	2018	2	27	7	41	38,1	49.3881	19.8919	5	1,1	Podhale	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
58	2018	3	8	4	38	36,5	49.4025	19.9520	5	2,0	Podhale	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
59	2018	4	19	20	49	16,9	49.5703	20.3269	5	1,7	Kamienica	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
60	2018	5	11	22	35	57,2	49.5693	20.3129	2	2,0	Kamienica	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
61	2018	7	4	0	26	13,4	49.3391	20.0858	6	0,4	Podhale	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
62	2018	7	15	21	19	49,3	49.4762	20.9678	16	3,3	Krynica	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
63	2018	7	16	1	54	18,4	49.4829	20.9630	14	2,9	Krynica	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
64	2018	8	8	7	22	20,3	49.3521	19.8926	5	1,3	Podhale	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
65	2018	8	25	2	12	52,1	49.3703	19.8961	5	0,4	Podhale	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
66	2018	8	29	21	28	33,1	49.3818	19.9284	5	1,0	Podhale	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
67	2018	8	29	23	37	21,7	49.3961	19.9467	7	0,2	Podhale	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
68	2018	9	28	1	40	43,1	49.3979	19.9195	6	0,2	Podhale	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
69	2018	11	1	2	31	12,4	49.4049	19.9777	5	1,3	Podhale	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
70	2018	11	1	2	33	46,2	49.4019	19.9592	6	0,4	Podhale	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
71	2018	11	4	1	32	58,4	49.3858	19.9215	5	1,0	Podhale	MGP – etap II

Lp. No.	Rok Year	Miesiąc Month	Dzień Day	Godzina Hour	Minuta Minute	Sekunda Second	Szerokość geogr. [°] N Latitude [°] N	Długość geogr. [°] E Longitude [°] E	Głębokość [km] Depth [km]	M_L M_L	Region Region	Źródło danych Data source
												<i>GMP – stage II</i>
72	2018	12	19	5	45	49,0	49.3164	19.8719	4	0,8	Podhale	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
73	2018	12	20	3	37	11,2	49.3756	19.9767	6	1,1	Podhale	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
74	2019	2	16	5	3	52,0	49.2720	19.8387	3	2,0	Tatry	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
75	2019	3	1	13	37	17,5	49.3924	19.9244	4	2,7	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
76	2019	3	2	0	48	4,2	49.3801	19.8945	4	0,6	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
77	2019	3	10	9	53	30,9	49.3836	19.9108	5	1,6	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
78	2019	3	25	0	42	9,8	49.3655	19.8869	3	0,5	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
79	2019	4	7	22	37	36,4	49.3921	19.9406	5	0,3	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
80	2019	6	29	0	57	23,4	49.3312	19.9546	4	0,9	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
81	2019	7	29	0	15	54,1	49.3383	19.8048	2	0,9	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
82	2019	8	13	22	45	52,0	49.4143	19.8400	8	0,4	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
83	2019	8	13	22	48	24,7	49.4118	19.8594	7	0,8	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
84	2019	8	16	21	6	30,3	49.3608	19.8327	6	0,9	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
85	2019	8	16	23	23	14,9	49.3853	19.8960	5	0,6	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
86	2019	11	10	21	53	36,1	49.3672	20.0056	5	0,9	Podhale	MGP – etap III

Lp. No.	Rok Year	Miesiąc Month	Dzień Day	Godzina Hour	Minuta Minute	Sekunda Second	Szerokość geogr. [°] N Latitude [°] N	Długość geogr. [°] E Longitude [°] E	Głębokość [km] Depth [km]	M_L M_L	Region Region	Źródło danych Data source
												<i>GMP – stage III</i>
87	2019	11	17	3	40	47,2	49.3614	20.0288	4	0,7	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
88	2019	11	26	1	9	42,2	49.4063	19.8934	5	0,9	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
89	2019	12	4	14	36	2,9	49.3942	19.9197	5	1,0	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
90	2020	1	6	23	57	50,1	49.3987	19.9065	8	0,4	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
91	2020	3	26	15	52	4,8	49.4170	20.1060	3	1,4	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
92	2020	4	23	23	46	44,1	49.3831	19.9083	3	0,4	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
93	2020	5	12	1	53	34,8	49.3672	20.0140	5	1,0	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
94	2020	5	12	17	0	16,6	49.3435	19.8437	4	0,8	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
95	2020	6	3	16	22	12,2	49.3759	19.8916	5	1,2	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
96	2020	6	8	23	39	59,1	49.3131	20.0235	5	0,4	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
97	2020	7	16	7	31	23,3	49.3205	19.8179	5	1,2	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
98	2020	7	20	20	52	58,6	49.3775	20.0147	2	1,3	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
99	2020	7	30	22	26	36,8	49.3976	19.9326	6	1,3	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
100	2020	8	5	11	45	12,0	49.3868	19.8783	7	1,2	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
101	2020	8	15	2	22	23,0	49.2998	19.9150	3	0,4	Podhale	MGP – etap III

Lp. No.	Rok Year	Miesiąc Month	Dzień Day	Godzina Hour	Minuta Minute	Sekunda Second	Szerokość geogr. [°] N Latitude [°] N	Długość geogr. [°] E Longitude [°] E	Głębokość [km] Depth [km]	M_L M_L	Region Region	Źródło danych Data source
												<i>GMP – stage III</i>
102	2020	8	31	1	52	47,0	49.3689	19.8935	3	0,5	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
103	2020	9	18	4	41	43,9	49.3920	19.9174	5	0,7	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
104	2020	9	28	3	2	6,4	49.3226	19.9278	4	1,4	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
105	2020	10	6	0	14	29,7	49.3443	19.8032	5	0,7	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
106	2020	12	16	21	54	36,5	49.5177	19.7964	5	0,7	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
107	2021	1	4	12	53	3,5	49.3791	19.8880	5	0,7	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
108	2021	1	19	16	58	9,2	49.3774	19.9149	6	0,7	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
109	2021	2	11	13	23	25,3	49.3952	19.9113	6	0,7	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
110	2021	4	29	1	57	2,0	49.3883	19.8602	7	0,8	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
111	2021	5	5	2	7	11,6	49.3285	19.8982	5	1,6	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
112	2021	6	21	20	44	5,9	49.3517	19.8359	5	0,8	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
113	2021	7	17	2	14	55,4	49.3702	19.8990	5	0,6	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
114	2021	9	11	16	43	49,4	49.3933	19.9040	7	1,3	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
115	2021	10	24	3	11	23,6	49.3978	19.9190	7	0,5	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
116	2021	11	18	15	54	5,7	49.3026	20.0426	4	1,5	Podhale	MGP – etap III

Lp. No.	Rok Year	Miesiąc Month	Dzień Day	Godzina Hour	Minuta Minute	Sekunda Second	Szerokość geogr. [°] N Latitude [°] N	Długość geogr. [°] E Longitude [°] E	Głębokość [km] Depth [km]	M _L M _L	Region Region	Źródło danych Data source
												<i>GMP – stage III</i>
117	2021	11	27	20	51	53,3	49.3221	19.8770	5	1,1	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
118	2021	12	16	12	59	14,6	49.3743	19.9016	5	1,3	Podhale	MGP – etap III <i>GMP – stage III</i>
119	2022	1	6	23	11	45,5	49.4013	19.8823	5	1,5	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
120	2022	1	19	0	2	49,1	49.4232	19.9122	7	0,8	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
121	2022	1	19	4	35	57,5	49.4201	19.8987	5	1,1	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
122	2022	1	22	10	49	24,1	49.4169	19.8979	5	2,1	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
123	2022	4	13	19	25	32,4	49.3626	20.0102	5	0,9	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
124	2022	6	26	10	26	18,7	49.3738	19.8825	5	0,8	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
125	2022	7	26	18	9	19,8	49.3754	19.8487	8	1,3	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
126	2022	9	29	0	39	29,2	49.3503	20.0968	8	1,2	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
127	2022	10	8	2	39	39,0	49.3937	19.9361	7	0,4	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
128	2022	10	14	21	42	58,0	49.2943	19.9698	5	0,6	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
129	2022	11	5	1	6	22,3	49.3728	19.8575	7	0,4	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
130	2023	1	13	4	11	20,0	49.3792	20.0227	5	0,4	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
131	2023	2	3	5	22	18,1	49.3778	19.8956	6	0,3	Podhale	MGP – etap IV

Lp. No.	Rok Year	Miesiąc Month	Dzień Day	Godzina Hour	Minuta Minute	Sekunda Second	Szerokość geogr. [°] N Latitude [°] N	Długość geogr. [°] E Longitude [°] E	Głębokość [km] Depth [km]	M_L M_L	Region Region	Źródło danych Data source
												<i>GMP – stage IV</i>
132	2023	2	10	6	5	3,7	49.3000	19.8651	4	0,8	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
133	2023	2	15	9	39	48,9	49.3596	19.9991	6	0,8	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
134	2023	3	13	18	31	3,6	49.3937	19.9163	6	1,6	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
135	2023	3	26	22	8	47,7	49.3904	19.9073	5	0,5	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
136	2023	4	6	17	38	27,3	49.3649	20.0147	5	0,6	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
137	2023	4	7	0	43	45,2	49.3826	19.8902	6	2,0	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
138	2023	4	7	11	39	51,5	49.3898	19.8972	6	1,0	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
139	2023	4	7	12	38	53,1	49.3867	19.8933	7	0,7	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
140	2023	4	7	15	2	14,9	49.3871	19.8947	6	0,6	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
141	2023	4	22	22	16	6,5	49.3412	19.9017	9	0,4	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
142	2023	5	7	0	54	6,3	49.3517	20.0973	5	1,6	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
143	2023	5	7	18	2	38,8	49.3528	20.0823	5	0,6	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
144	2023	5	14	15	42	48,7	49.3680	19.8836	5	0,8	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
145	2023	5	29	20	26	22,9	49.3115	19.9684	4	0,7	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
146	2023	5	29	20	26	23,2	49.3460	19.9726	5	0,7	Podhale	MGP – etap IV

Lp. No.	Rok Year	Miesiąc Month	Dzień Day	Godzina Hour	Minuta Minute	Sekunda Second	Szerokość geogr. [°] N Latitude [°] N	Długość geogr. [°] E Longitude [°] E	Głębokość [km] Depth [km]	M_L M_L	Region Region	Źródło danych Data source
												<i>GMP – stage IV</i>
147	2023	6	22	10	17	7,1	49.3370	19.9955	5	1,2	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>
148	2023	9	11	2	42	21,2	49.3846	20.0184	5	0,5	Podhale	MGP – etap IV <i>GMP – stage IV</i>

Załącznik 2. Tabela przedstawiająca katalog wstrząsów zarejestrowanych w okresie 01.01.2013–31.10.2023 r. przez stacje sieci PSG_Sejs_NET w rejonie Jeziora Czorsztyńskiego i Niedzicy (wstrząsy pochodzenia antropogenicznego) oraz na obszarze Słowacji. Podane lokalizacje oraz magnitudy wstrząsów zostały wyznaczone przy użyciu danych zarejestrowanych przez sieć PSG_Sejs_NET¹.

Appendix 2. The catalog of earthquakes registered in the period 01.01.2013–31.10.2023 by the stations of PSG_Sejs_NET network in the area of Czorsztyń Lake and Niedzica village (events classified as anthropogenic seismicity) and in Slovakia. Locations and magnitudes of events given in the table were determined using data registered by PSG_Sejs_NET network¹.

Lp. No.	Rok Year	Miesiąc Month	Dzień Day	Godzina Hour	Minuta Minute	Sekunda Second	Szerokość geogr. [°] N Latitude [°] N	Długość geogr. [°] E Longitude [°] E	Głębokość [km] Depth [km]	M _L M _L	Region Region	Źródło danych Data source
1	2013	1	23	23	48	21,6	49.4311	20.2547	4	1,0	Niedzica	Baza danych IGF PAN Database of IG PAS
2	2013	1	23	23	49	25,6	49.4260	20.2608	4	0,9	Niedzica	Baza danych IGF PAN Database of IG PAS
3	2013	2	17	13	37	14,4	49.4251	20.2655	5	2,6	Niedzica	Baza danych IGF PAN Database of IG PAS
4	2013	2	17	15	27	43,8	49.4254	20.2618	5	1,0	Niedzica	Baza danych IGF PAN Database of IG PAS
5	2013	2	19	16	55	29,2	49.4200	20.2618	6	1,5	Niedzica	Baza danych IGF PAN Database of IG PAS
6	2013	2	19	23	22	51,9	49.4320	20.2555	4	1,7	Niedzica	Baza danych IGF PAN Database of IG PAS
7	2013	2	23	21	41	5,7	49.4364	20.2603	4	2,0	Niedzica	Baza danych IGF PAN Database of IG PAS
8	2013	3	1	21	23	12,7	49.4262	20.2744	7	3,0	Niedzica	Baza danych IGF PAN Database of IG PAS
9	2013	3	1	21	23	12,9	49.4321	20.2661	5	3,3	Niedzica	Baza danych IGF PAN Database of IG PAS

¹ Szczegółowy katalog wstrząsów dla rejonu Jeziora Czorsztyńskiego i Niedzicy od 24.08.2013 r. jest dostępny na platformie EPISODES: <https://episodesplatform.eu/?lang=pl#episode:CZORSZTYN>. Katalog ten został opracowany na podstawie danych z lokalnej sieci SENTINELS, co zapewnia lepsze lokalizacje i większą czułość detekcji wstrząsów niż w przypadku sieci PSG_Sejs_NET.

Detailed catalog of seismic events which occurred in the area of Czorsztyń Lake and Niedzica village since 24.08.2013 is available on the EPISODES platform: <https://episodesplatform.eu/?lang=pl#episode:CZORSZTYN>. This catalog has been developed using data from the local SENTINELS network what ensures more accurate locations and a better detection threshold than in the case of PSG_Sejs_NET network.

Lp. No.	Rok Year	Miesiąc Month	Dzień Day	Godzina Hour	Minuta Minute	Sekunda Second	Szerokość geogr. [°] N Latitude [°] N	Długość geogr. [°] E Longitude [°] E	Głębokość [km] Depth [km]	M_L M_L	Region Region	Źródło danych Data source
10	2013	3	1	21	31	58,5	49.4335	20.2654	5	0,4	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
11	2013	3	1	21	37	51,1	49.4077	20.2742	6	1,4	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
12	2013	3	1	21	40	49,4	49.3745	20.3267	6	0,9	Słowacja	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
13	2013	3	1	21	51	27,8	49.4078	20.2644	7	1,3	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
14	2013	3	1	21	54	33,0	49.3882	20.3013	6	0,9	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
15	2013	3	1	23	15	23,9	49.3911	20.3081	7	1,0	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
16	2013	3	2	10	50	13,5	49.4327	20.2651	5	2,2	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
17	2013	3	2	10	50	35,8	49.4268	20.2656	6	2,9	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
18	2013	3	2	10	51	42,0	49.4137	20.2694	6	2,2	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
19	2013	3	2	11	41	41,9	49.4257	20.2712	5	1,6	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
20	2013	3	2	11	45	28,6	49.4165	20.2649	6	1,5	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
21	2013	3	2	11	46	5,5	49.4104	20.2725	6	1,3	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
22	2013	3	2	11	48	36,3	49.4126	20.2781	6	1,3	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
23	2013	3	2	14	39	54,0	49.4009	20.2820	5	1,4	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
24	2013	3	2	17	13	4,1	49.4217	20.2667	6	2,2	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>

Lp. No.	Rok Year	Miesiąc Month	Dzień Day	Godzina Hour	Minuta Minute	Sekunda Second	Szerokość geogr. [°] N Latitude [°] N	Długość geogr. [°] E Longitude [°] E	Głębokość [km] Depth [km]	M_L M_L	Region Region	Źródło danych Data source
25	2013	3	2	17	14	12,7	49.4363	20.2666	5	1,5	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
26	2013	3	2	19	38	40,0	49.4220	20.2675	5	1,0	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
27	2013	3	2	21	15	59,7	49.3877	20.2990	6	0,8	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
28	2013	3	4	0	5	11,9	49.4203	20.2673	6	2,3	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
29	2013	3	8	8	33	2,0	49.4096	20.2768	6	1,5	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
30	2013	3	8	11	44	31,5	49.4284	20.2624	5	1,5	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
31	2013	3	10	17	38	11,9	49.4306	20.2626	4	1,3	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
32	2013	3	11	9	30	57,8	49.4162	20.2694	6	1,1	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
33	2013	3	14	1	53	1,2	49.4260	20.2642	4	0,7	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
34	2013	3	19	12	29	12,1	50.9771	20.7759	4	1,8	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
35	2013	3	23	23	5	41,4	49.4405	20.2737	5	1,5	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
36	2013	3	25	1	6	28,3	49.4180	20.2657	5	2,7	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
37	2013	3	25	6	1	42,4	49.4404	20.2585	4	1,5	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
38	2013	4	20	5	6	58,7	49.3458	19.7837	1	1,3	Słowacja	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
39	2013	4	20	23	26	4,4	49.4150	20.2713	7	2,2	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>

Lp. No.	Rok Year	Miesiąc Month	Dzień Day	Godzina Hour	Minuta Minute	Sekunda Second	Szerokość geogr. [°] N Latitude [°] N	Długość geogr. [°] E Longitude [°] E	Głębokość [km] Depth [km]	M_L M_L	Region Region	Źródło danych Data source
40	2013	4	21	6	57	51,6	49.4318	20.2637	6	2,7	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
41	2013	5	20	6	48	51,3	49.3885	20.2866	5	2,3	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
42	2013	5	26	20	59	33,5	49.3606	20.2829	5	1,3	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
43	2013	5	26	21	0	2,1	49.4555	20.2864	5	1,1	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
44	2013	5	26	21	17	13,1	49.4021	20.2605	5	1,4	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
45	2013	5	26	21	22	47,4	49.4094	20.2643	5	1,7	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
46	2013	6	17	14	16	7,8	49.3499	19.7817	5	1,7	Słowacja	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
47	2013	6	17	14	16	44,2	49.3405	19.7577	5	2,3	Słowacja	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
48	2013	7	6	14	29	42,3	49.3467	19.7604	5	2,9	Słowacja	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
49	2013	7	17	9	41	25,3	49.2262	19.5836	3	1,6	Słowacja	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
50	2013	7	18	14	23	30,6	49.3242	19.7532	1	2,6	Słowacja	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
51	2013	7	21	6	6	9,6	49.3410	19.7466	4	2,8	Słowacja	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
52	2013	8	8	10	54	6,9	49.3877	20.2517	8	2,4	Niedzica	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
53	2013	8	25	7	57	35,1	49.4326	20.2584	6	1,4	Niedzica	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
54	2013	8	26	23	19	19,6	49.4387	20.2425	7	0,4	Niedzica	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>

Lp. No.	Rok Year	Miesiąc Month	Dzień Day	Godzina Hour	Minuta Minute	Sekunda Second	Szerokość geogr. [°] N Latitude [°] N	Długość geogr. [°] E Longitude [°] E	Głębokość [km] Depth [km]	M_L M_L	Region Region	Źródło danych Data source
55	2013	8	31	2	26	31,3	49.4375	20.2570	8	0,6	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
56	2013	9	4	22	17	4,5	49.4463	20.2539	7	0,2	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
57	2013	9	4	23	24	54,6	49.4403	20.2407	6	0,7	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
58	2013	9	5	0	11	27,0	49.4421	20.2502	7	0,1	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
59	2013	9	5	0	12	18,3	49.4423	20.2497	7	0,1	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
60	2013	9	5	0	36	27,9	49.4467	20.2527	7	0,1	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
61	2013	9	5	0	36	50,0	49.4339	20.2415	7	-0,2	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
62	2013	9	5	0	39	27,5	49.4424	20.2509	6	-0,2	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
63	2013	9	5	1	6	28,2	49.4429	20.2496	7	0,1	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
64	2013	9	5	6	12	4,7	49.4425	20.2501	7	0,6	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
65	2013	9	5	15	20	12,6	49.4425	20.2513	7	1,3	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
66	2013	9	9	0	41	45,9	49.4443	20.2426	8	0,3	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
67	2013	9	9	18	48	47,8	49.4405	20.2508	7	0,8	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
68	2013	9	10	7	45	4,7	49.4371	20.2472	6	1,1	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
69	2013	9	11	3	30	8,1	49.4501	20.2517	7	0,4	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I

Lp. No.	Rok Year	Miesiąc Month	Dzień Day	Godzina Hour	Minuta Minute	Sekunda Second	Szerokość geogr. [°] N Latitude [°] N	Długość geogr. [°] E Longitude [°] E	Głębokość [km] Depth [km]	M_L M_L	Region Region	Źródło danych Data source
70	2013	9	12	10	36	22,7	49.4465	20.2571	3	0,8	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
71	2013	9	12	10	38	13,4	49.4455	20.2485	7	0,4	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
72	2013	9	20	18	18	17,9	49.4022	20.2686	3	0,3	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
73	2013	9	24	13	25	6,4	49.4548	20.2568	5	1,0	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
74	2013	10	9	18	36	7,1	49.4432	20.2452	6	0,1	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
75	2013	10	16	20	57	21,6	49.4442	20.2483	7	0,2	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
76	2013	11	8	4	22	8,2	49.4405	20.2426	8	0,5	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
77	2013	11	8	23	25	19,5	49.4056	20.5024	2	0,3	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
78	2013	11	9	7	2	30,8	49.4636	20.2709	4	0,1	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
79	2013	11	24	7	17	15,0	49.4439	20.2481	6	0,1	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
80	2013	11	23	13	30	7,2	49.3820	19.7658	5	2,5	Słowacja	MGP – etap I GMP – stage I
81	2013	11	23	21	12	9,0	49.3721	19.7800	6	1,7	Słowacja	MGP – etap I GMP – stage I
82	2013	12	3	2	23	29,5	49.4347	20.2475	8	0,4	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I
83	2013	12	3	15	4	0,7	49.3678	19.7911	3	1,4	Słowacja	MGP – etap I GMP – stage I
84	2013	12	13	8	7	55,9	49.4592	20.2791	6	0,2	Niedzica	MGP – etap I GMP – stage I

Lp. No.	Rok Year	Miesiąc Month	Dzień Day	Godzina Hour	Minuta Minute	Sekunda Second	Szerokość geogr. [°] N Latitude [°] N	Długość geogr. [°] E Longitude [°] E	Głębokość [km] Depth [km]	M_L M_L	Region Region	Źródło danych Data source
85	2013	12	16	3	9	19,9	49.4457	20.2509	7	0,2	Niedzica	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
86	2013	1	2	7	48	13,6	49.4439	20.2483	8	0,3	Niedzica	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
87	2014	2	25	1	29	27,6	49.4412	20.3972	6	-0,1	Niedzica	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
88	2014	2	25	13	23	46,6	49.4483	20.2522	6	0,8	Niedzica	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
89	2014	3	23	21	11	10,4	49.4357	20.2614	6	2,1	Niedzica	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
90	2014	4	1	11	19	57,1	49.3661	20.5091	2	1,7	Słowacja	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
91	2014	10	30	10	52	30,0	49.4470	20.2529	6	1,6	Niedzica	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
92	2016	1	30	21	49	17,6	49.3313	19.7959	4	2,0	Słowacja	MGP – etap I <i>GMP – stage I</i>
93	2016	11	22	22	16	49,6	49.3968	20.2235	5	1,0	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
94	2017	1	15	4	54	59,4	49.3459	19.7469	4	1,4	Słowacja	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
95	2017	5	9	5	13	23,5	49.2781	19.7543	3	1,3	Słowacja	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
96	2017	9	12	14	58	35,2	49.3186	20.5094	5	1,9	Słowacja	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
97	2017	9	15	9	53	38,5	49.3774	20.3037	10	1,8	Niedzica	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
98	2017	10	2	19	58	8,0	49.3782	19.7045	3	0,8	Słowacja	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
99	2017	10	15	4	6	39,3	49.3134	20.6911	3	1,5	Słowacja	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>

Lp. No.	Rok Year	Miesiąc Month	Dzień Day	Godzina Hour	Minuta Minute	Sekunda Second	Szerokość geogr. [°] N Latitude [°] N	Długość geogr. [°] E Longitude [°] E	Głębokość [km] Depth [km]	M_L M_L	Region Region	Źródło danych Data source
100	2017	10	23	1	4	11,1	49.0008	20.2874	5	1,7	Słowacja	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
101	2017	11	6	22	9	18,4	49.3665	20.3468	10	1,1	Słowacja	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
102	2017	11	13	2	1	58,2	49.3586	19.7193	4	1,0	Słowacja	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
103	2017	12	10	3	48	1,5	49.3786	19.7710	5	1,9	Słowacja	Baza danych IGF PAN <i>Database of IG PAS</i>
104	2018	4	9	18	29	48,5	49.4107	20.2480	6	2,4	Niedzica	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
105	2018	4	9	18	30	53,4	49.3860	20.2713	6	2,4	Niedzica	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
106	2018	4	10	23	30	19,7	49.2078	20.5864	5	1,3	Słowacja	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
107	2018	4	19	23	38	17,3	49.4056	20.2963	8	1,3	Niedzica	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
108	2018	4	27	16	11	32,3	49.4021	20.2714	5	3,1	Niedzica	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
109	2018	4	27	16	11	32,9	49.3973	20.2428	5	3,1	Niedzica	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
110	2018	4	27	16	29	48,1	49.4517	20.2489	10	2,6	Niedzica	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
111	2018	4	27	16	43	52,8	49.5150	20.2874	4	2,2	Niedzica	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
112	2018	4	27	21	26	48,3	49.3876	20.4402	9	1,2	Słowacja	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
113	2018	5	3	1	46	54,6	49.4997	20.3062	5	1,3	Niedzica	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>
114	2018	9	19	2	8	45,0	49.2434	19.7200	5	0,8	Słowacja	MGP – etap II <i>GMP – stage II</i>

Lp. No.	Rok Year	Miesiąc Month	Dzień Day	Godzina Hour	Minuta Minute	Sekunda Second	Szerokość geogr. [°] N Latitude [°] N	Długość geogr. [°] E Longitude [°] E	Głębokość [km] Depth [km]	M_L M_L	Region Region	Źródło danych Data source
115	2018	11	14	23	16	11,0	49.3118	19.6336	1	2,7	Słowacja	MGP – etap II GMP – stage II
116	2018	11	21	0	58	17,9	49.3102	19.5559	2	0,8	Słowacja	MGP – etap II GMP – stage II
117	2019	5	11	17	17	5,7	49.2150	19.7073	3	1,5	Słowacja	MGP – etap III GMP – stage III
118	2019	7	13	12	7	49,8	49.3212	20.4896	3	3,4	Słowacja	MGP – etap III GMP – stage III
119	2019	9	15	0	44	6,7	49.2878	19.6472	3	2,9	Słowacja	MGP – etap III GMP – stage III
120	2019	10	4	4	28	59,2	49.3201	19.6835	1	0,9	Słowacja	MGP – etap III GMP – stage III
121	2019	10	27	2	40	53,8	49.3289	19.7946	3	0,9	Słowacja	MGP – etap III GMP – stage III
122	2019	10	28	20	21	3,2	49.3047	19.7098	3	1,2	Słowacja	MGP – etap III GMP – stage III
123	2019	10	28	20	33	21,7	49.3048	19.7036	3	0,8	Słowacja	MGP – etap III GMP – stage III
124	2019	10	30	0	52	20,4	49.3196	19.7129	3	0,9	Słowacja	MGP – etap III GMP – stage III
125	2019	10	30	21	41	58,4	49.2771	19.6320	7	0,9	Słowacja	MGP – etap III GMP – stage III
126	2020	4	26	17	30	36,9	49.3507	20.5793	2	1,1	Słowacja	MGP – etap III GMP – stage III
127	2020	6	26	0	55	5,5	49.3439	19.7859	5	1,0	Słowacja	MGP – etap III GMP – stage III
128	2020	6	26	7	8	57,6	49.4431	20.2935	8	2,1	Niedzica	MGP – etap III GMP – stage III
129	2020	7	20	15	55	1,5	49.3597	19.7449	4	1,0	Słowacja	MGP – etap III GMP – stage III

Lp. No.	Rok Year	Miesiąc Month	Dzień Day	Godzina Hour	Minuta Minute	Sekunda Second	Szerokość geogr. [°] N Latitude [°] N	Długość geogr. [°] E Longitude [°] E	Głębokość [km] Depth [km]	M_L M_L	Region Region	Źródło danych Data source
130	2020	7	30	1	30	52,3	49.3373	19.7907	5	0,3	Słowacja	MGP – etap III GMP – stage III
131	2020	8	4	2	13	24,1	49.3139	19.7392	5	0,4	Słowacja	MGP – etap III GMP – stage III
132	2020	8	12	2	41	18,4	49.3175	19.7675	5	0,4	Słowacja	MGP – etap III GMP – stage III
133	2020	10	9	10	24	16,5	49.1694	19.5523	5	1,4	Słowacja	MGP – etap III GMP – stage III
134	2020	11	24	14	57	30,1	49.2696	19.6972	1	2,1	Słowacja	MGP – etap III GMP – stage III
135	2021	2	9	2	31	9,1	49.4073	20.1945	5	1,1	Niedzica	MGP – etap III GMP – stage III
136	2021	7	29	4	28	46,4	49.2841	20.6330	4	1,9	Słowacja	MGP – etap III GMP – stage III
137	2021	8	4	12	27	33,9	49.1892	19.5606	5	1,8	Słowacja	MGP – etap III GMP – stage III
138	2021	11	25	18	7	3,8	49.2246	19.7303	3	1,7	Słowacja	MGP – etap III GMP – stage III
139	2022	1	19	0	38	25,4	49.4729	20.3376	5	1,5	Niedzica	MGP – etap III GMP – stage III
140	2022	1	28	17	40	29,0	49.2801	19.7202	2	1,8	Słowacja	MGP – etap IV GMP – stage IV
141	2022	5	19	7	7	20,5	49.2819	19.7205	1	2,2	Słowacja	MGP – etap IV GMP – stage IV
142	2022	7	5	7	20	49,4	49.3474	19.6632	7	1,2	Słowacja	MGP – etap IV GMP – stage IV
143	2022	8	23	20	37	25,6	49.1382	20.1984	5	1,6	Słowacja	MGP – etap IV GMP – stage IV
144	2022	9	30	13	4	16,3	49.3767	21.2738	3	1,7	Słowacja	MGP – etap IV GMP – stage IV

Lp. No.	Rok Year	Miesiąc Month	Dzień Day	Godzina Hour	Minuta Minute	Sekunda Second	Szerokość geogr. [°] N Latitude [°] N	Długość geogr. [°] E Longitude [°] E	Głębokość [km] Depth [km]	M_L M_L	Region Region	Źródło danych Data source
145	2022	12	15	3	15	39,0	49.2987	20.2136	3	0,9	Słowacja	MGP – etap IV GMP – stage IV
146	2023	2	7	0	58	17,6	49.3349	19.7872	4	0,5	Słowacja	MGP – etap IV GMP – stage IV
147	2023	5	26	0	50	48,5	49.2784	19.5946	1	1,0	Słowacja	MGP – etap IV GMP – stage IV
148	2023	9	20	10	37	19,9	49.2930	19.4750	5	1,8	Słowacja	MGP – etap IV GMP – stage IV
149	2023	10	9	18	23	8,5	48.8951	21.7561	18	5,2	Słowacja	MGP – etap IV GMP – stage IV

Załącznik 3. Tabela przedstawiająca lokalizacje oraz okresy działania stacji sieci PSG_Sejs_NET oraz stacji pomocniczych sieci PLSN w okresie 01.01.2013–31.10.2023 r. Podane kody stacji są zgodne ze stanem na 31.10.2023 r.

Appendix 3. Locations and operation periods of seismic stations belonging to PSG_Sejs_NET network and auxiliary stations of PLSN network in the period 01.01.2013–31.10.2023. The station codes are provided as of 31.10.2023.

Lp. No.	Sieć: typ sejsmometru (właściciel) <i>Network: type of seismometer (owner)</i>	Nazwa stacji <i>Station code</i>	Miejscowość <i>Location</i>	Szerokość geogr. [°] N <i>Latitude [°] N</i>	Długość geogr. [°] E <i>Longitude [°] E</i>	Wysokość bezwzględna [m] <i>Elevation [m]</i>	Początek rejestracji <i>Start of registration</i>	Koniec rejestracji <i>End of registration</i>
1	PSG_Sejs_NET: stacje mobilne Lennartz LE-3DLite (IGF PAN) PSG_Sejs_NET: mobile stations Lennartz LE-3DLite (IG PAS)	BOBR	Bóbrka	49.62	21.71	334	2008-09-09	–
2		BROW	Kielce-Browar	50.81	20.64	345	2011-04-04	2022-01-27
3		CICH	Ciche	49.39	19.87	670	2008-08-11	–
4		DZIA	Dzianisz	49.32	19.84	921	2010-10-27	–
5		FLOR	Florynka	49.55	20.98	403	2008-06-18	–
6		HOLO	Hołowno	51.65	23.20	155	2013-11-17	2022-03-24
7		JAWO	Jaworki	49.41	20.57	616	2008-06-18	2022-10-20
8		JAWO2	Jaworki	49.41	20.54	557	2022-10-19	–
9		KARC	Kielce-Karczówka	50.86	20.59	321	2011-04-04	2021-10-08
10		LISE	Lisewo	54.75	18.18	25	2010-07-28	–
11		LULE	Lulewice	54.05	15.95	24	2010-07-14	–
12		MICH	Michałów	51.36	16.00	155	2013-11-09	–
13		PISZ	Pisz	53.68	21.75	124	2015-06-09	2022-10-28
14		POTK	Rzepiska-Bryjów-Potok	49.36	20.16	886	2010-10-26	–
15		ROPK	Ropki	49.46	21.13	563	2008-08-09	–
16		SIER	Sierockie	49.36	19.96	1007	2008-08-11	–
17		SOCH	Sochocino-Praga	52.57	19.98	129	2010-07-01	–
18		STBY	Stare Bystre	49.43	19.94	682	2008-07-20	–
19		STEG	Stęgosz	52.04	17.52	99	2013-11-09	–
20		STRY	Stryjno Pierwsze	51.07	22.84	194	2022-03-23	–
21		SZEW	Kielce-Szewce	50.84	20.50	272	2011-04-04	2022-05-26

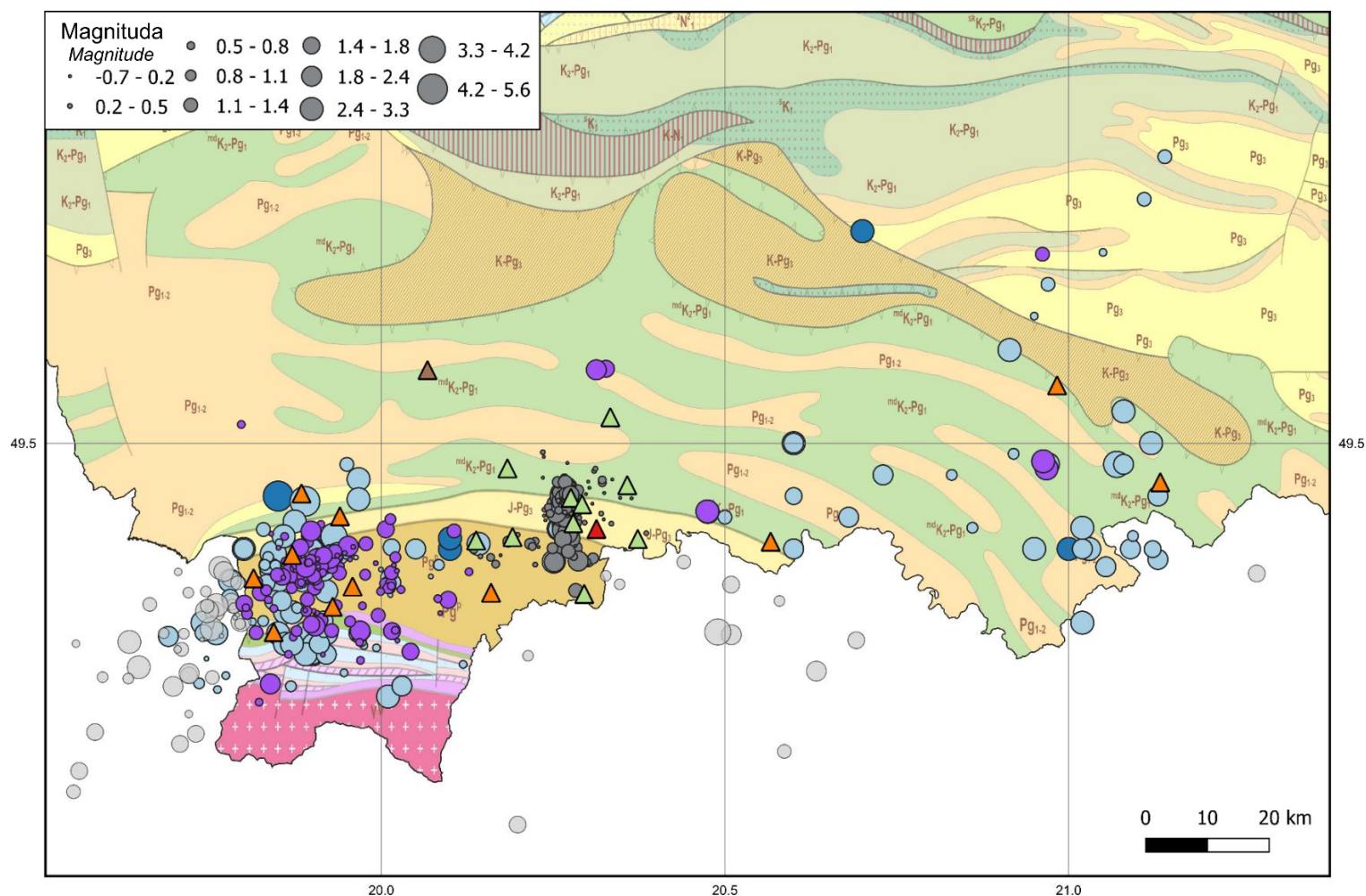
Lp. No.	Sieć: typ sejsmometru (właściciel) <i>Network: type of seismometer (owner)</i>	Nazwa stacji <i>Station code</i>	Miejscowość <i>Location</i>	Szerokość geogr. [°] N <i>Latitude [°] N</i>	Długość geogr. [°] E <i>Longitude [°] E</i>	Wysokość bezwzględna [m] <i>Elevation [m]</i>	Początek rejestracji <i>Start of registration</i>	Koniec rejestracji <i>End of registration</i>
22		WODA	Kielce-Wodociągi	50.89	20.66	320	2011-04-04	2022-01-27
23		ZAKA	Zakopane	49.45	19.88	649	2015-11-13	–
24		ZAKB	Zakopane	49.37	19.81	948	2015-11-13	–
25		ZAKC	Zakopane	49.35	19.93	761	2015-11-13	2018-04-13
26		ZAKD	Zakopane	49.35	19.93	942	2015-11-13	–
1	PSG_Sejs_NET: stacje mobilne GeoSIG VE-53/BB i stacje stałe Streckeisen STS-2.5 (pogrubione) (PIG-PIB¹) PSG_Sejs_NET: mobile stations GeoSIG VE-53/BB and permanent stations Streckeisen STS-2.5 (bolded) (PIG-NRI¹) 	PG23	Baczyn	50.09	19.67	273	2020-09-09	2023-04-12
2		BARL	Stawno	52.88	15.17	68	2016-11-03	2022-07-30
3		PG10	Błotnica	50.47	16.93	244	2016-12-01	–
4		BUSL	Buślarki	53.79	16.12	68	2022-06-14	–
5		PG04	Cichobórz	50.71	23.90	206	2016-09-28	2019-05-02
6		PG08	Dębrzyno	54.06	17.97	150	2016-10-06	2017-08-12
7		JEMI	Jemielno	51.52	16.53	102	2021-08-18	–
8		PG20	Kielniki	50.75	19.29	311	2020-09-09	–
9		PG03	Kije	52.11	15.51	67	2016-11-25	–
10		PG07	Kłębowo	54.06	20.61	114	2016-11-30	2019-09-11
11		KOPG	Kopna Góra	53.25	23.48	153	2022-08-18	2023-08-16
12		KOST	Kostkowo	53.36	19.92	160	2021-12-08	–
13		LAMK	Lamkówko	53.89	20.67	157	2019-09-11	–
14		MIED	Międzybrodzie	49.79	19.20	328	2022-08-04	–
15		PG24	Mirostowice	51.57	15.15	150	2020-11-26	2022-02-21
16		NOWO	Nowogród Bobrzański	51.79	15.24	78	2022-05-24	–
17		OLCH	Olchowiec	49.30	22.51	493	2016-09-08	–
18		PG21	Panków	50.51	23.34	287	2020-10-08	–
19		PLOS	Płoszczyna	50.95	15.72	433	2016-12-14	–

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (*Polish Geological Institute – National Research Institute*)

Lp. No.	Sieć: typ sejsmometru (właściciel) <i>Network: type of seismometer (owner)</i>	Nazwa stacji <i>Station code</i>	Miejscowość <i>Location</i>	Szerokość geogr. [°] N <i>Latitude [°] N</i>	Długość geogr. [°] E <i>Longitude [°] E</i>	Wysokość bezwzględna [m] <i>Elevation [m]</i>	Początek rejestracji <i>Start of registration</i>	Koniec rejestracji <i>End of registration</i>
20		SNOP	Snopki	53.63	21.74	123	2022-08-08	–
21		SROD	Śródborów	52.94	15.15	78	2023-03-09	–
22		STOB	Stobrawa	50.86	17.63	139	2022-05-25	–
23		PG13	Suchora	49.57	20.07	1 001	2016-11-09	–
24		PG22	Szurpiły	54.21	22.86	223	2020-09-23	–
25		PG06	Tabędz	53.03	22.11	129	2016-11-17	–
26		PG25	Witrogoszcz	53.33	17.30	116	2020-12-09	2021-12-07
27		PG39	Zabrody	53.97	17.96	140	2017-09-22	–
28		ZAPO	Zaporowo	54.23	19.82	43	2022-08-09	–
29		PG29	Zgoń	50.07	18.83	270	2021-11-23	–
30		DZIW	Dziwie	52.32	18.92	127	2016-06-28	–
31		PG14	Hołowno	51.65	23.20	157	2016-08-16	–
1	PLSN: stacje Streckeisen STS-2 (IGF PAN) PLSN: stations Streckeisen STS-2 (IG PAS)	BEL	Belsk	51.84	20.79	173	2008-10-17	–
2		GKP	Górka Klasztorna	53.27	17.24	115	2004-05-29	–
3		KSP	Książ	50.84	16.29	353	1999-12-11	–
4		KWP	Kalwaria Paclawska	49.63	22.71	448	2010-05-20	–
5		NIE	Niedzica	49.42	20.30	645	2008-01-01	–
6		OJC	Ojców	50.22	19.80	391	1999-07-19	–
7		SUW	Suwałki	54.01	23.18	152	2010-05-31	–

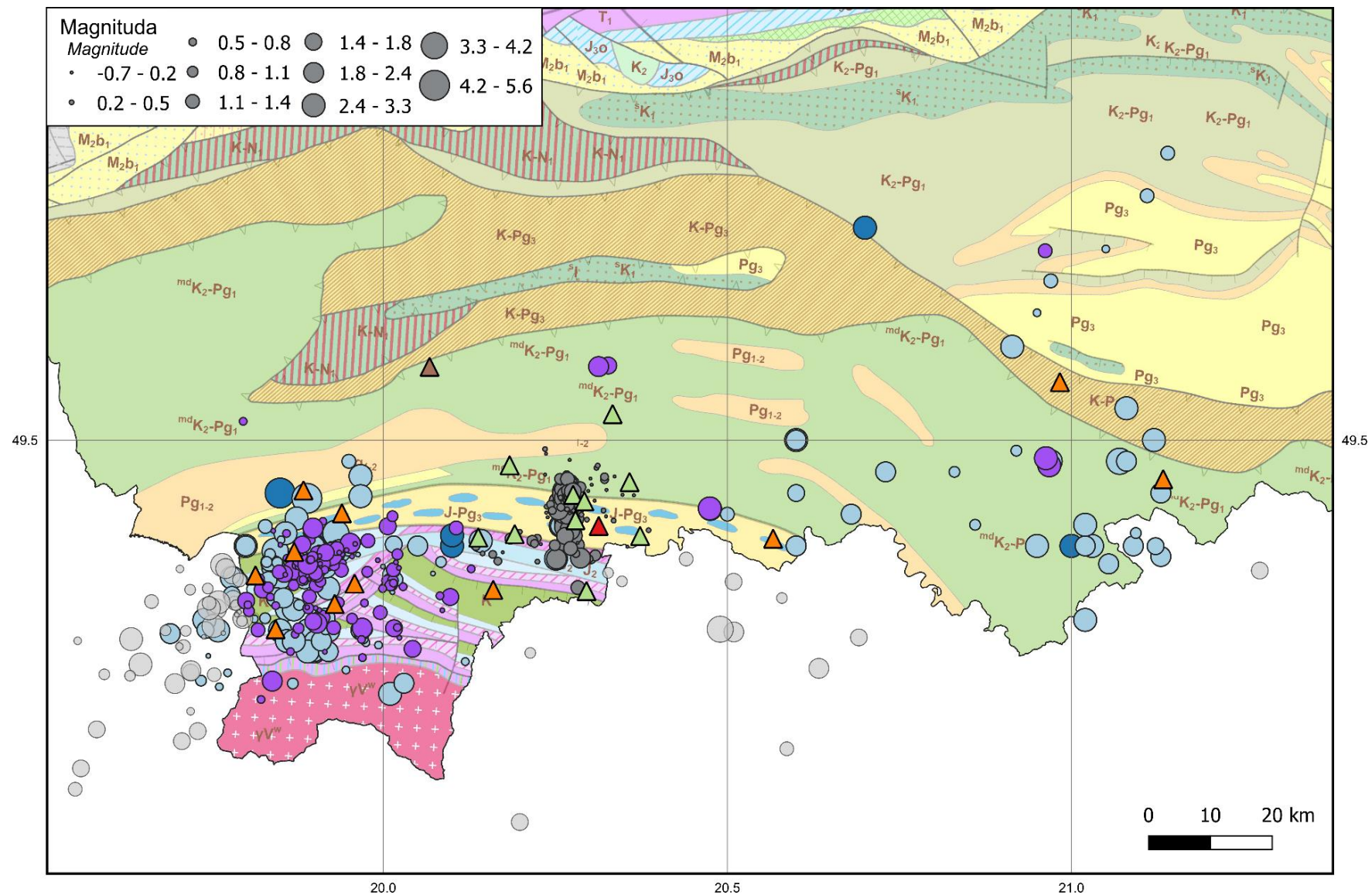
Załącznik 4. Lokalizacja wstrząsów zarejestrowanych w ramach projektu MGP na tle map geologicznych na poziomach ścięcia 1–5 km, sporządzonych na podstawie Atlasu Geologicznego Polski 1:750 000 (Kotański i in., 1997; <https://baza.pgi.gov.pl/geoportalu/uslugi/gis>).

Appendix 4. *Tectonic earthquakes recorded during implementation of GMP project against the background of horizontal section geological maps at the levels of 1–5 km b.s.l., prepared based on the Geological Atlas of Poland 1:750 000 (Kotański et al., 1997; <https://baza.pgi.gov.pl/geoportalu/uslugi/gis>).*



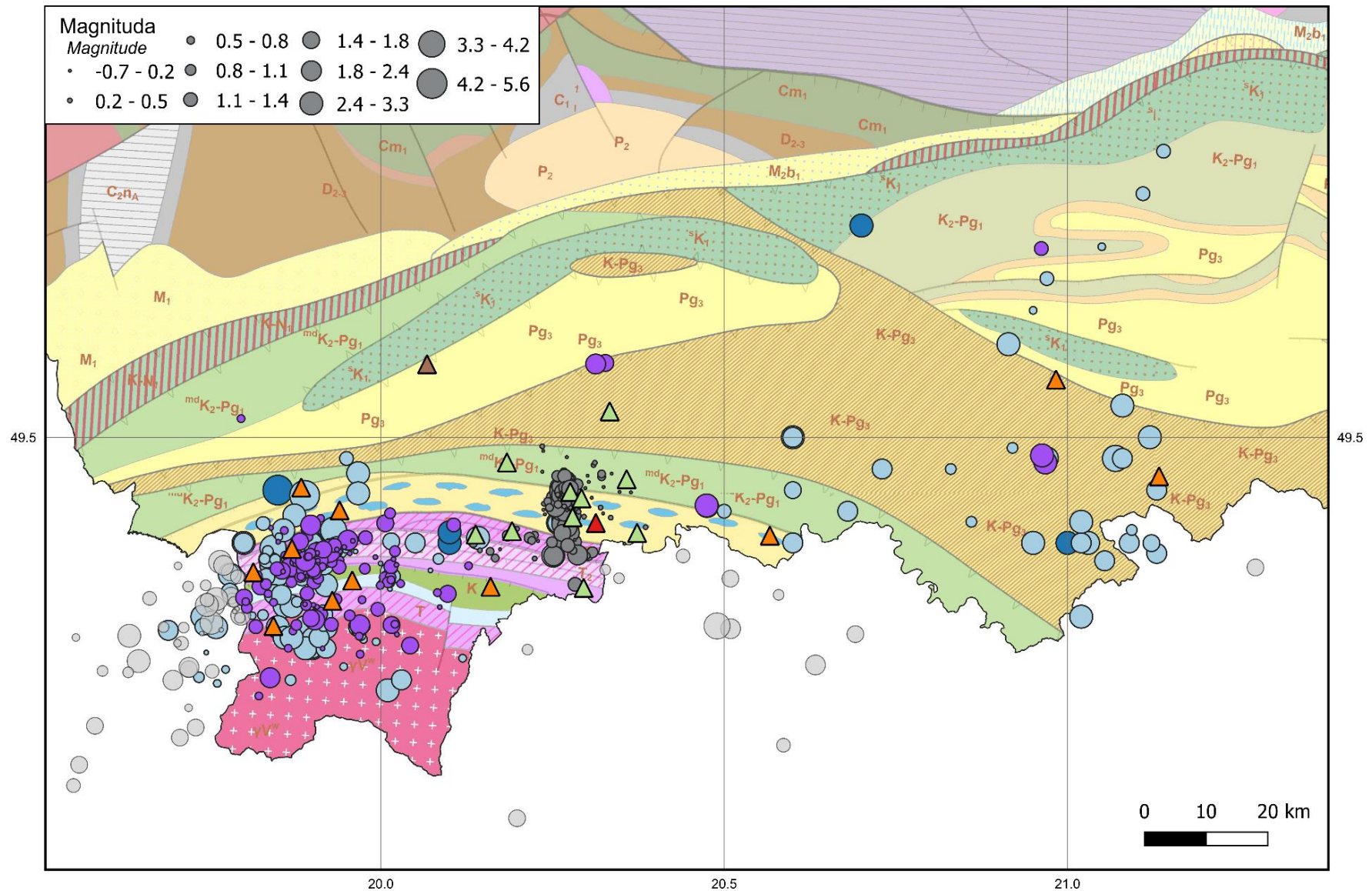
Ryc. S1. Lokalizacja wstrząsów sejsmicznych pochodzenia tektonicznego zarejestrowanych w latach 2013–2023 w ramach projektu MGP (fioletowe punkty, Załącznik 1) na tle mapy geologicznej na poziomie ścięcia 1000 m p.p.m., sporządzonej na podstawie Atlasu Geologicznego Polski 1:750 000 (Kotański i in., 1997). Pomarańczowymi trójkątami oznaczono stacje mobilne Lennartz należące do sieci PSG_Sejs_NET, natomiast zielonymi trójkątami stacje sieci SENTINELS. Pozostałe oznaczenia jak na ryc. 3 w treści artykułu.

Fig. S1. Tectonic earthquakes recorded in 2013–2023 during implementation of GMP project (purple circles, Appendix 1) against the background of horizontal section geological map at the level of 1000 m b.s.l., prepared based on the Geological Atlas of Poland 1:750 000 (Kotański et al., 1997). Orange triangles represent mobile Lennartz stations of PSG_Sejs_NET network. Green triangles denote stations of SENTINELS network. The remaining symbols are as described in Figure 3 in the text of the article.



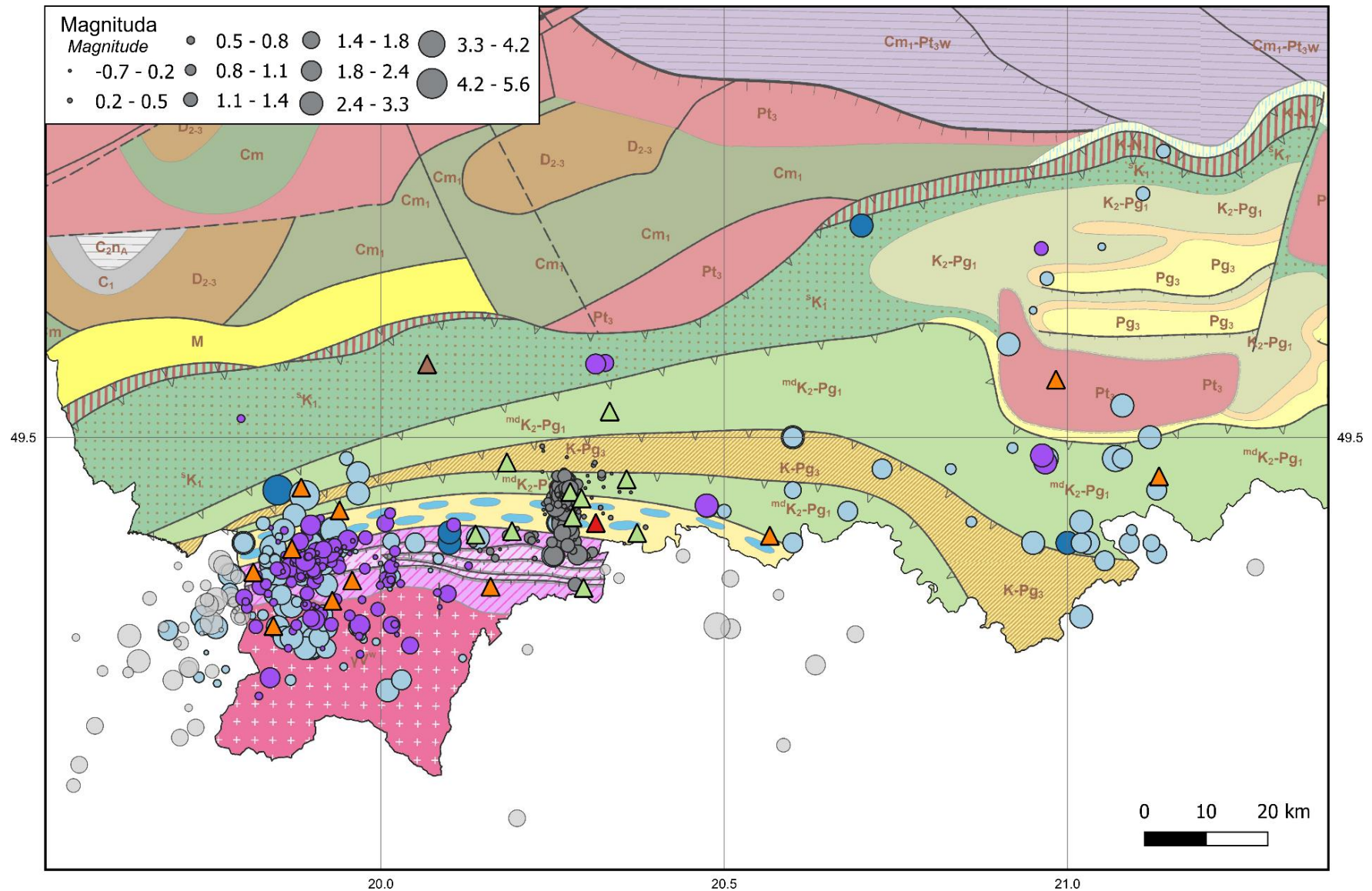
Ryc. S2. Lokalizacja wstrząsów sejsmicznych pochodzenia tektonicznego zarejestrowanych w latach 2013–2023 w ramach projektu MGP (fioletowe punkty, Załącznik 1) na tle mapy geologicznej na poziomie ścienia 2000 m p.p.m., sporządzonej na podstawie Atlasu Geologicznego Polski 1:750 000 (Kotarski i in., 1997). Pomarańczowymi trójkątami oznaczono stacje mobilne Lennartz należące do sieci PSG_Sejs_NET, natomiast zielonymi trójkątami stacje sieci SENTINELS. Pozostałe oznaczenia jak na ryc. 3 w treści artykułu.

Fig. S2. Tectonic earthquakes recorded in 2013–2023 during implementation of GMP project (purple circles, Appendix 1) against the background of horizontal section geological map at the level of 2000 m b.s.l., prepared based on the Geological Atlas of Poland 1:750 000 (Kotarski et al., 1997). Orange triangles represent mobile Lennartz stations of PSG_Sejs_NET network. Green triangles denote stations of SENTINELS network. The remaining symbols are as described in Figure 3 in the text of the article.



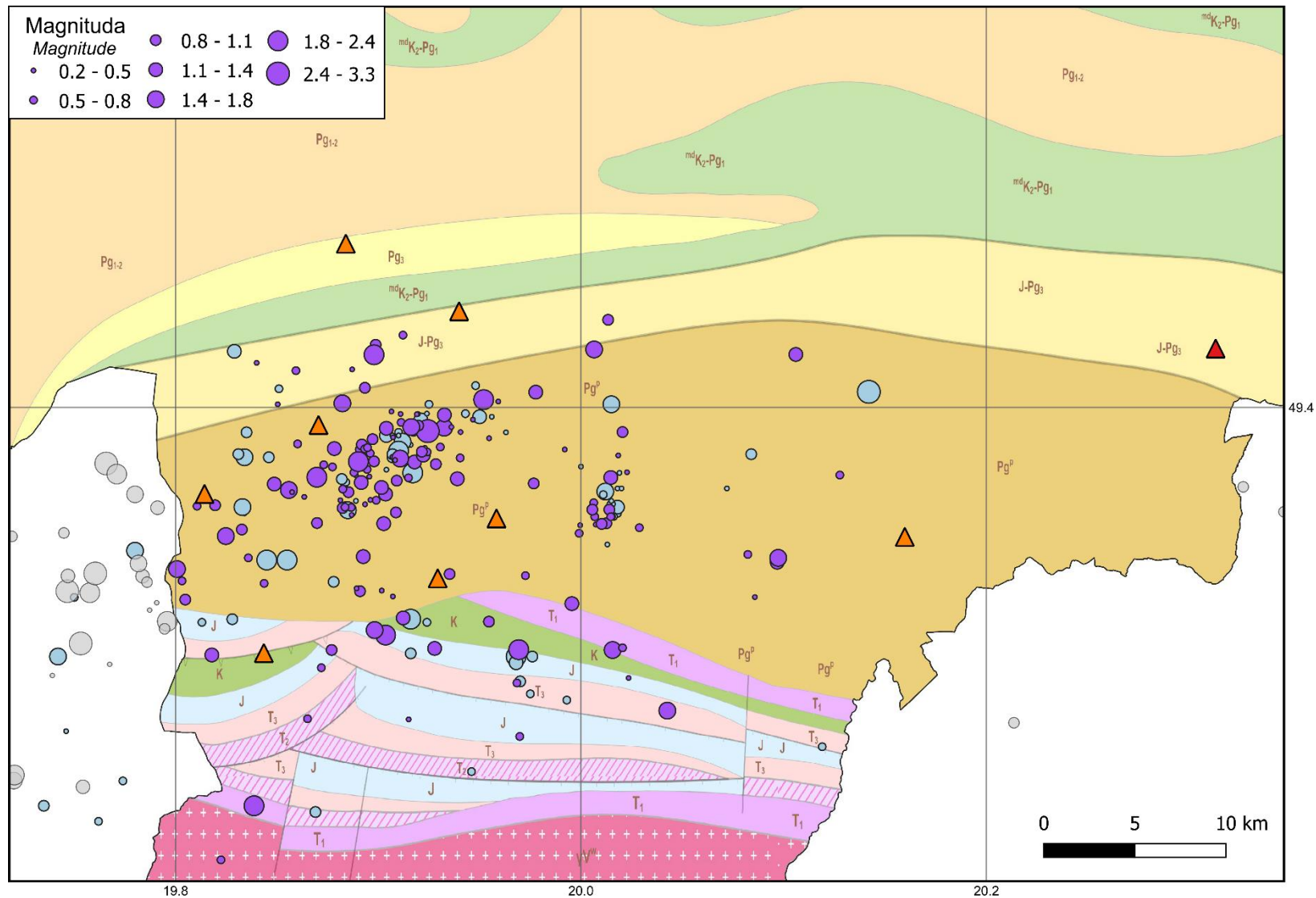
Ryc. S4. Lokalizacja wstrząsów sejsmicznych pochodzenia tektonicznego zarejestrowanych w latach 2013–2023 w ramach projektu MGP (fioletowe punkty, Załącznik 1) na tle mapy geologicznej na poziomie ścienia 4000 m p.p.m., sporządzonej na podstawie Atlasu Geologicznego Polski 1:750 000 (Kotański i in., 1997). Pomarańczowymi trójkątami oznaczono stacje mobilne Lennartz należące do sieci PSG_Sejs_NET, natomiast zielonymi trójkątami stacje sieci SENTINELS. Pozostałe oznaczenia jak na ryc. 3 w treści artykułu.

Fig. S4. Tectonic earthquakes recorded in 2013–2023 during implementation of GMP project (purple circles, Appendix 1) against the background of horizontal section geological map at the level of 4000 m b.s.l., prepared based on the Geological Atlas of Poland 1:750 000 (Kotański et al., 1997). Orange triangles represent mobile Lennartz stations of PSG_Sejs_NET network. Green triangles denote stations of SENTINELS network. The remaining symbols are as described in Figure 3 in the text of the article.



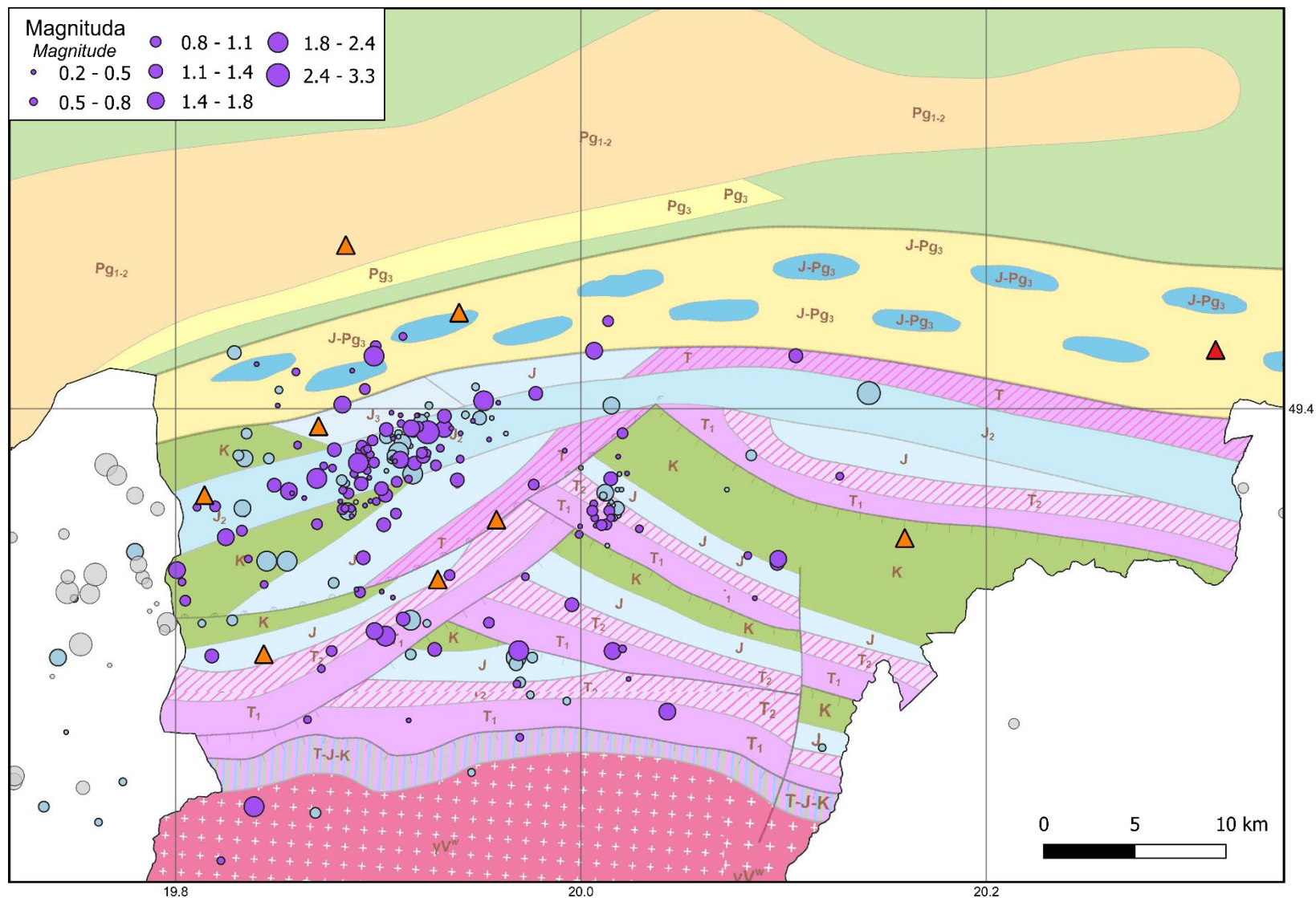
Ryc. S5. Lokalizacja wstrząsów sejsmicznych pochodzenia tektonicznego zarejestrowanych w latach 2013–2023 w ramach projektu MGP (fioletowe punkty, Załącznik 1) na tle mapy geologicznej na poziomie ścienia 5000 m p.p.m., sporządzonej na podstawie Atlasu Geologicznego Polski 1:750 000 (Kotarski i in., 1997). Pomarańczowymi trójkątami oznaczono stacje mobilne Lennartz należące do sieci PSG_Sejs_NET, natomiast zielonymi trójkątami stacje sieci SENTINELS. Pozostałe oznaczenia jak na ryc. 3 w treści artykułu.

Fig. S5. Tectonic earthquakes recorded in 2013–2023 during implementation of GMP project (purple circles, Appendix 1) against the background of horizontal section geological map at the level of 5000 m b.s.l., prepared based on the Geological Atlas of Poland 1:750 000 (Kotarski et al., 1997). Orange triangles represent mobile Lennartz stations of PSG_Sejs_NET network. Green triangles denote stations of SENTINELS network. The remaining symbols are as described in Figure 3 in the text of the article.



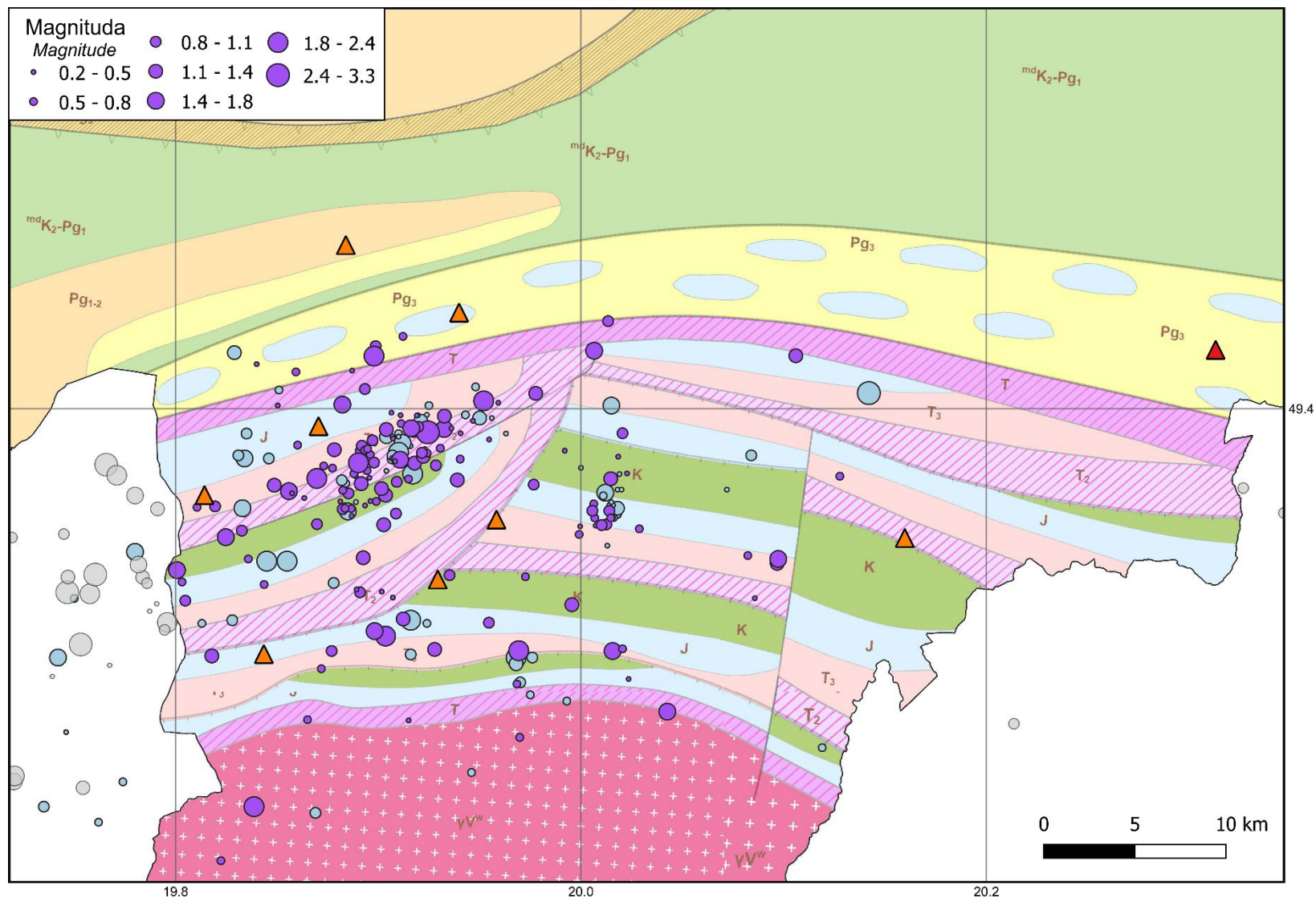
Ryc. S6. Lokalizacja wstrząsów zarejestrowanych na terenie Podhala w okresach 2008–2012 (jasnoniebieskie punkty) oraz 2013–2023 (fioletowe punkty) na tle mapy geologicznej na poziomie ścienia 1000 m p.p.m. sporządzonej na podstawie Atlasu Geologicznego Polski 1:750 000 (Kotański i in., 1997). Pomarańczowymi trójkątami oznaczono stacje mobilne Lennartz należące do sieci PSG_Sejs_NET. Pozostałe oznaczenia jak na ryc. 5 w treści artykułu.

Fig. S6. Earthquakes recorded in Podhale region in the periods 2008–2012 (light blue circles) and 2013–2023 (purple circles) against the background of horizontal section geological map at the level of 1000 m b.s.l., prepared based on the Geological Atlas of Poland 1:750 000 (Kotański et al., 1997). Orange triangles represent mobile Lennartz stations of PSG_Sejs_NET network. The remaining symbols are as described in Figure 5 in the text of the article.



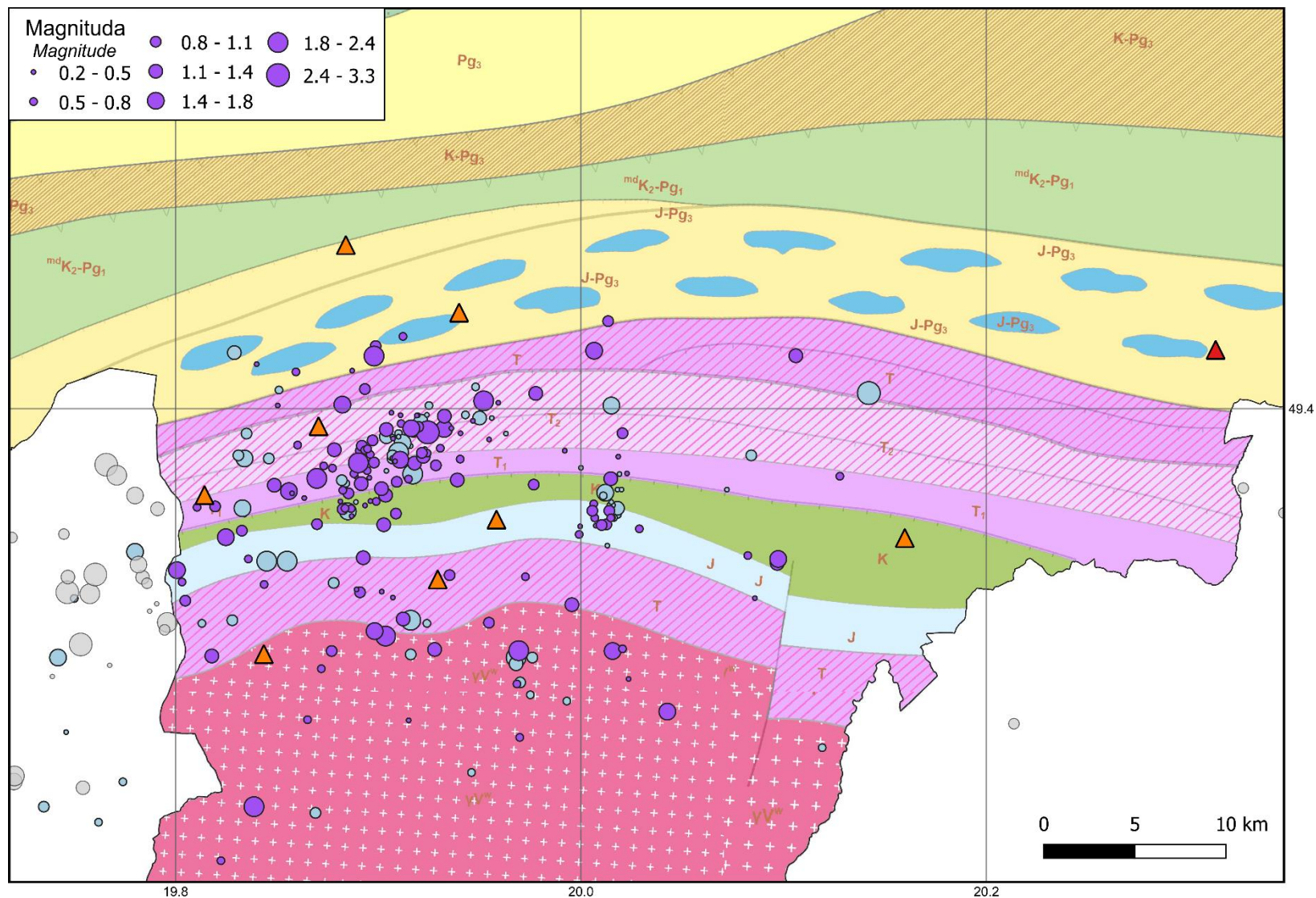
Rys. S7. Lokalizacja wstrząsów zarejestrowanych na terenie Podhala w okresach 2008–2012 (jasnoniebieskie punkty) oraz 2013–2023 (fioletowe punkty) na tle mapy geologicznej na poziomie ścienia 2000 m p.p.m. sporządzonej na podstawie Atlasu Geologicznego Polski 1:750 000 (Kotański i in., 1997). Pomarańczowymi trójkątami oznaczono stacje mobilne Lennartz należące do sieci PSG_Sejs_NET. Pozostałe oznaczenia jak na ryc. 5 w treści artykułu.

Fig. S7. Earthquakes recorded in Podhale region in the periods 2008–2012 (light blue circles) and 2013–2023 (purple circles) against the background of horizontal section geological map at the level of 2000 m b.s.l., prepared based on the Geological Atlas of Poland 1:750 000 (Kotański et al., 1997). Orange triangles represent mobile Lennartz stations of PSG_Sejs_NET network. The remaining symbols are as described in Figure 5 in the text of the article.



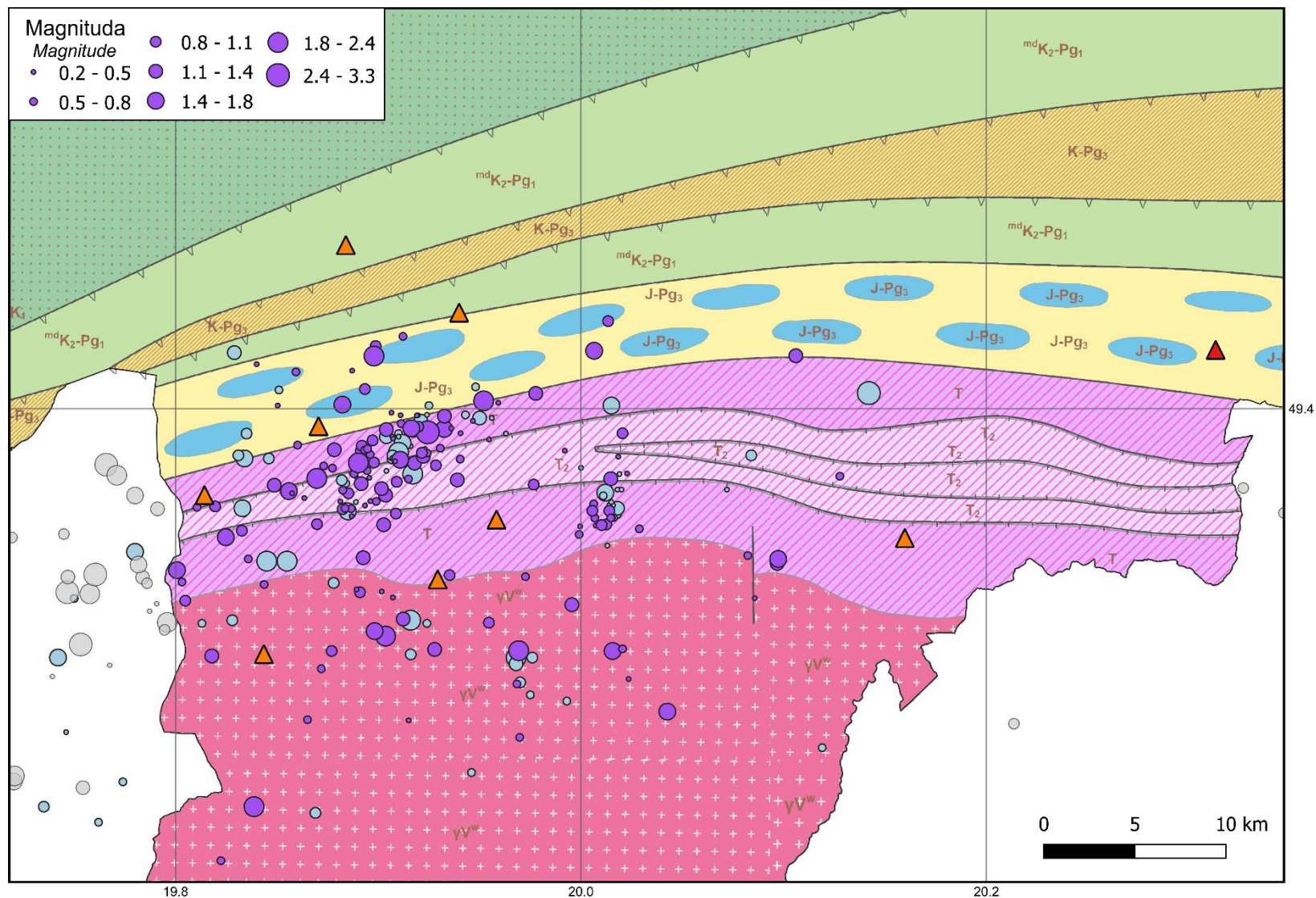
Ryc. S8. Lokalizacja wstrząsów zarejestrowanych na terenie Podhala w okresach 2008–2012 (jasnoniebieskie punkty) oraz 2013–2023 (fioletowe punkty) na tle mapy geologicznej na poziomie ścięcia 3000 m p.p.m. sporządzonej na podstawie Atlasu Geologicznego Polski 1:750 000 (Kotański i in., 1997). Pomarańczowymi trójkątami oznaczono stacje mobilne Lennartz należące do sieci PSG_Sejs_NET. Pozostałe oznaczenia jak na ryc. 5 w treści artykułu.

Fig. S8. Earthquakes recorded in Podhale region in the periods 2008–2012 (light blue circles) and 2013–2023 (purple circles) against the background of horizontal section geological map at the level of 3000 m b.s.l., prepared based on the Geological Atlas of Poland 1:750 000 (Kotański et al., 1997). Orange triangles represent mobile Lennartz stations of PSG_Sejs_NET network. The remaining symbols are as described in Figure 5 in the text of the article.



Ryc. S9. Lokalizacja wstrząsów zarejestrowanych na terenie Podhala w okresach 2008–2012 (jasnoniebieskie punkty) oraz 2013–2023 (fioletowe punkty) na tle mapy geologicznej na poziomie ścicia 4000 m p.p.m. sporządzonej na podstawie Atlasu Geologicznego Polski 1:750 000 (Kotański i in., 1997). Pomarańczowymi trójkątami oznaczono stacje mobilne Lennartz należące do sieci PSG_Sejs_NET. Pozostałe oznaczenia jak na ryc. 5 w treści artykułu.

Fig. S9. Earthquakes recorded in Podhale region in the periods 2008–2012 (light blue circles) and 2013–2023 (purple circles) against the background of horizontal section geological map at the level of 4000 m b.s.l., prepared based on the Geological Atlas of Poland 1:750 000 (Kotański et al., 1997). Orange triangles represent mobile Lennartz stations of PSG_Sejs_NET network. The remaining symbols are as described in Figure 5 in the text of the article.



Ryc. S10. Lokalizacja wstrząsów zarejestrowanych na terenie Podhala w okresach 2008–2012 (jasnoniebieskie punkty) oraz 2013–2023 (fioletowe punkty) na tle mapy geologicznej na poziomie ścienia 5000 m p.p.m. sporządzonej na podstawie Atlasu Geologicznego Polski 1:750 000 (Kotański i in., 1997). Pomarańczowymi trójkątami oznaczono stacje mobilne Lennartz należące do sieci PSG_Sejs_NET. Pozostałe oznaczenia jak na ryc. 5 w treści artykułu.

Fig. S10. Earthquakes recorded in Podhale region in the periods 2008–2012 (light blue circles) and 2013–2023 (purple circles) against the background of horizontal section geological map at the level of 5000 m b.s.l., prepared based on the Geological Atlas of Poland 1:750 000 (Kotański et al., 1997). Orange triangles represent mobile Lennartz stations of PSG_Sejs_NET network. The remaining symbols are as described in Figure 5 in the text of the article.