

**DANE DOTYCZĄCE AKTYWNOŚCI SEJSMICZNEJ W POLSCE
W II PÓŁROCZU 2018
(1 lipca - 31 grudnia 2018)**

**WYCIĄG Z RAPORTU
ANALIZA DANYCH DOTYCZĄCYCH AKTYWNOŚCI GEODYNAMICZNEJ POLSKI**

Raport został opracowany przez zespół wykonawców z Państwowego Instytutu Geologicznego-PIB w ramach projektu pt. Monitoring geodynamiczny Polski – etap II



Sfinansowano ze środków
Narodowego Funduszu
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

Dane dotyczące aktywności sejsmicznej w Polsce w II półroczu 2018 r., tj. w okresie 1 lipca - 31 grudnia 2018

Dane sejsmiczne

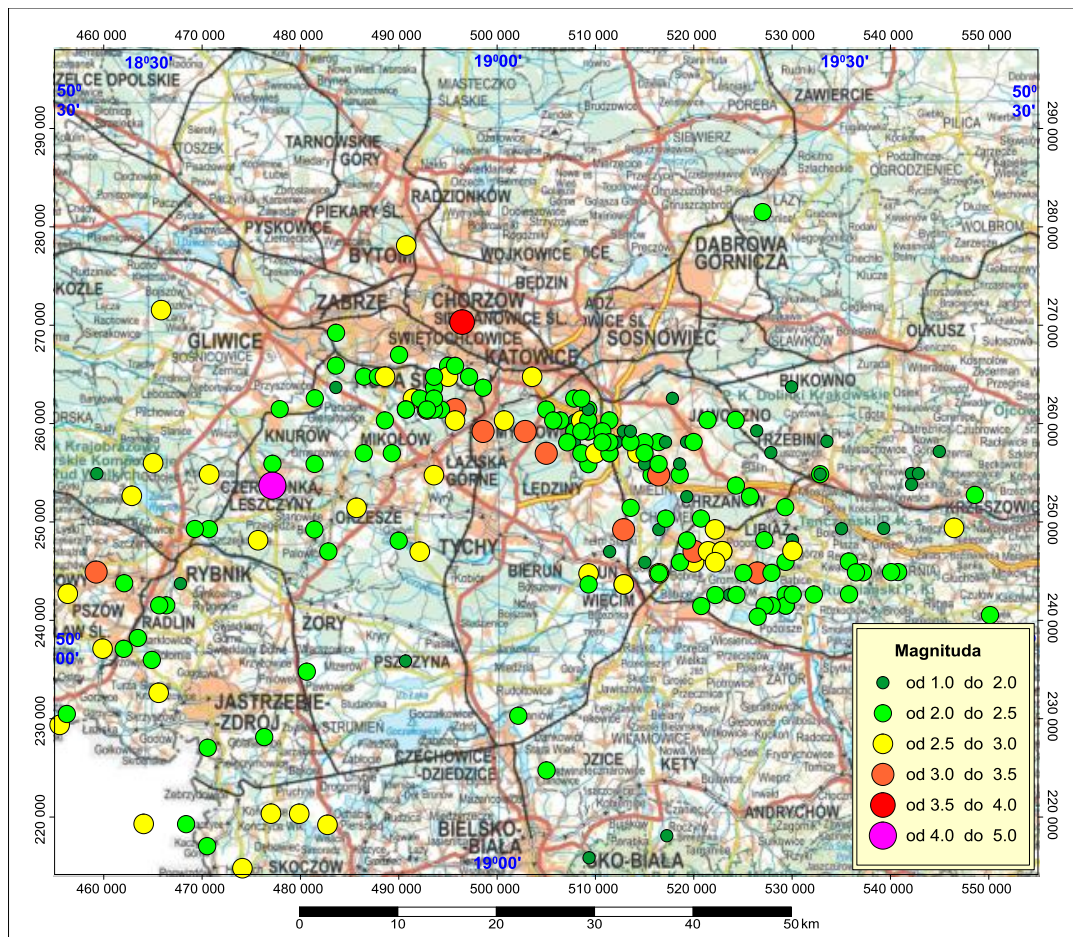
Na obszarze Polski w drugim półroczu 2018 r., tj. w okresie od lipca do grudnia 2018 r. w sieci PSG_Sejs_NET zarejestrowano 347 zjawisk sejsmicznych o magnitudzie od M1 do M5. Listę tych zjawisk przedstawiono w **tab. 1**, stanowiącej zał. 1 do opracowania, a ich lokalizację na mapie stanowiącej zał. 2.

Rozkład liczebności wstrząsów w odniesieniu do wybranych, najbardziej aktywnych sejsmicznie regionów pokazano w **tab. 2**.

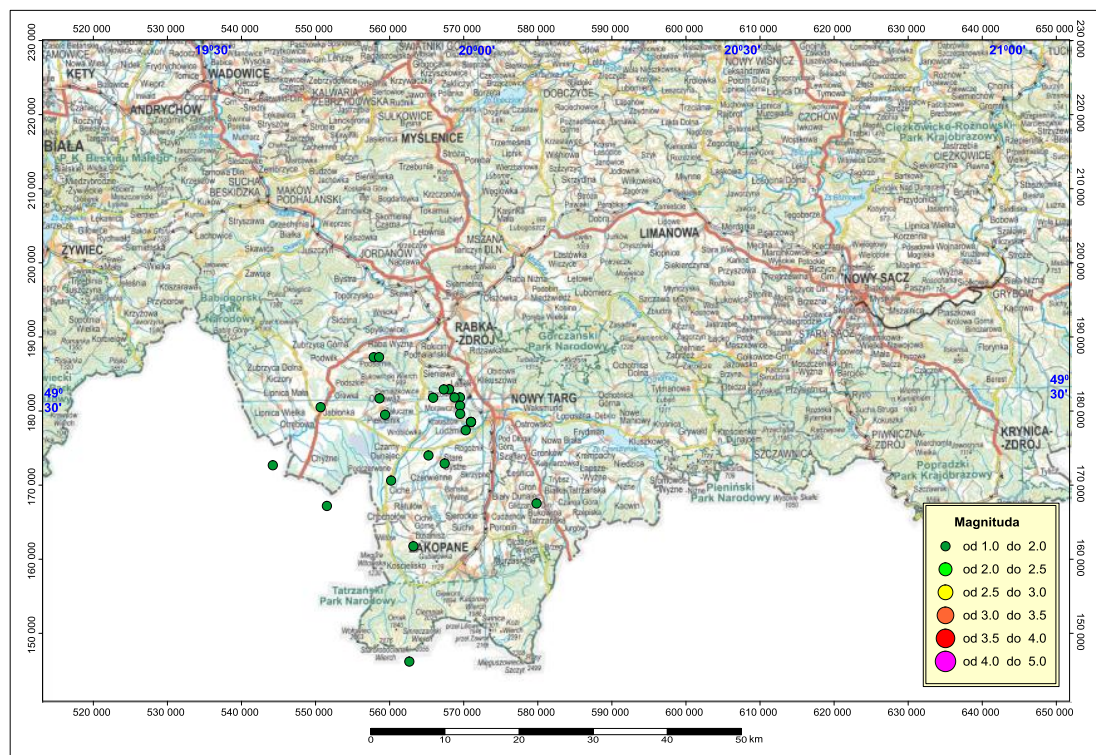
Tab. 2. Regionalny rozkład liczebności zdarzeń sejsmicznych zidentyfikowanych w systemie automatycznego alertowania sieci PSG_Sejs_NET w okresie od 1 lipca do 31 grudnia 2018 r.

Lp.	Region	Liczba wstrząsów	% w okresie 1.01.-30.06.2018
1	GZW	209	60,3
2	LGOM	9	2,6
3	LZW KWK Bogdanka	0	0
4	KWB Bogdanka	0	0
5	Podhale i Karpaty Zachodnie	24	6,9
6	Karpaty Środkowe i Wschodnie oraz Przedgórze	9	2,6
7	Strefa Skierniewice – Łowicz	3	0,8
8	Inne rejony - nierozdzielone	93	26,8
	Razem:	347	100

Najwięcej zjawisk zlokalizowanych było w dwóch rejonach: Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (209 zdarzeń sejsmicznych) oraz w rejonie Podhala (24 zdarzenia). Ponadto na obszarze Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (9 zdarzeń), Karpat Centralnych i Wschodnich oraz Przedgórze (9 zdarzeń) i 3 zdarzenia w tzw. strefie Skierniewice – Łowicz zlokalizowanej wzdłuż linii T-T. W rejonie GZW oraz LGOM były to wstrząsy o charakterze wstrząsów indukowanych, tj. spowodowanych naruszeniem statyki górotworu w wyniku podziemnej eksploatacji górniczej. W przypadku wstrząsów zlokalizowanych w rejonie Podhala oraz Karpat Centralnych i Wschodnich wraz z Przedgórzem wykryte zostały niewielkie wstrząsy natury tektonicznej. Szczegółową lokalizację wstrząsów wykrytych na obszarze GZW i w rejonie Podhala zaprezentowano na **rys. 1** i **rys. 2**.



Rys. 1. Lokalizacja wstrząsów sejsmicznych zarejestrowanych w systemie automatycznego alertowania sieci PSG_Sejs_NET w okresie od 01.07.2018 do 31.12.2018 w rejonie GZW.

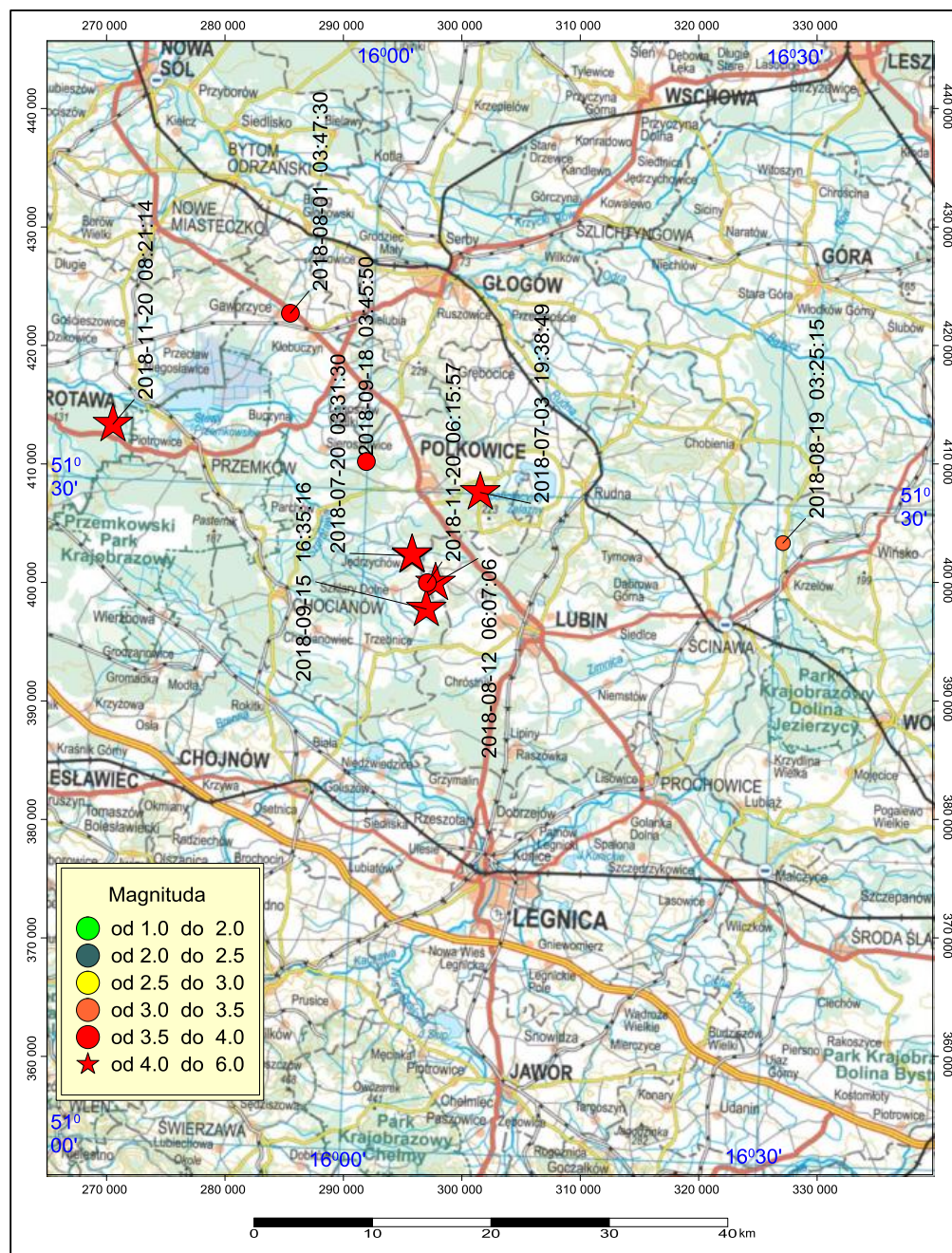


Rys. 2. Lokalizacja wstrząsów sejsmicznych zarejestrowanych w systemie automatycznego alertowania sieci PSG_Sejs_NET w okresie od 01.07.2018 do 31.12.2018 w rejonie Podhala.

Na łączną liczbę 347 zdarzeń sejsmicznych zarejestrowanych w systemie automatycznego alertowania w drugim półroczu 2018 r. ogniska pozostałych 93 zarejestrowanych wstrząsów wyznaczone zostały poza zdefiniowanymi wyżej obszarami grupowania.

Obszar LGOM, podobnie jak GZW, jest rejonem aktywnej, podziemnej eksploatacji górniczej. W rejonie tym również występuje wzmożona aktywność sejsmiczna o charakterze sejsmiczności indukowanej. Na obszarze LGOM zlokalizowana jest jedna stacja mobilna sieci PSG_Sejs_NET (stacja MICH). Z tego względu możliwości detekcji zjawisk, które występują w tym rejonie są znacznie ograniczone i system automatycznego wykrywania i alertowania rejestruje zazwyczaj tylko pojedyncze zjawiska o silniejszych magnitudach (powyżej progu odczuwalności).

W drugim półroczu 2018 r. system alertowania sieci PSG_Sejs_NET wykrył w rejonie LGOM 9 wstrząsów sejsmicznych. Lokalizację epicentrow tych zdarzeń przedstawiono na **rys. 3**. Były to wyłącznie wstrząsy stosunkowo silne, których magnitudy mieściły się w przedziale od M3.2 (najśłabszy) do M4.7 (najsilniejszy).



Rys. 3. Lokalizacja epicentrów wstrząsów sejsmicznych zarejestrowanych w systemie automatycznego alertowania sieci PSG_Sejs_NET w okresie od 01.07.2018 do 31.12.2018 w rejonie LGOM.

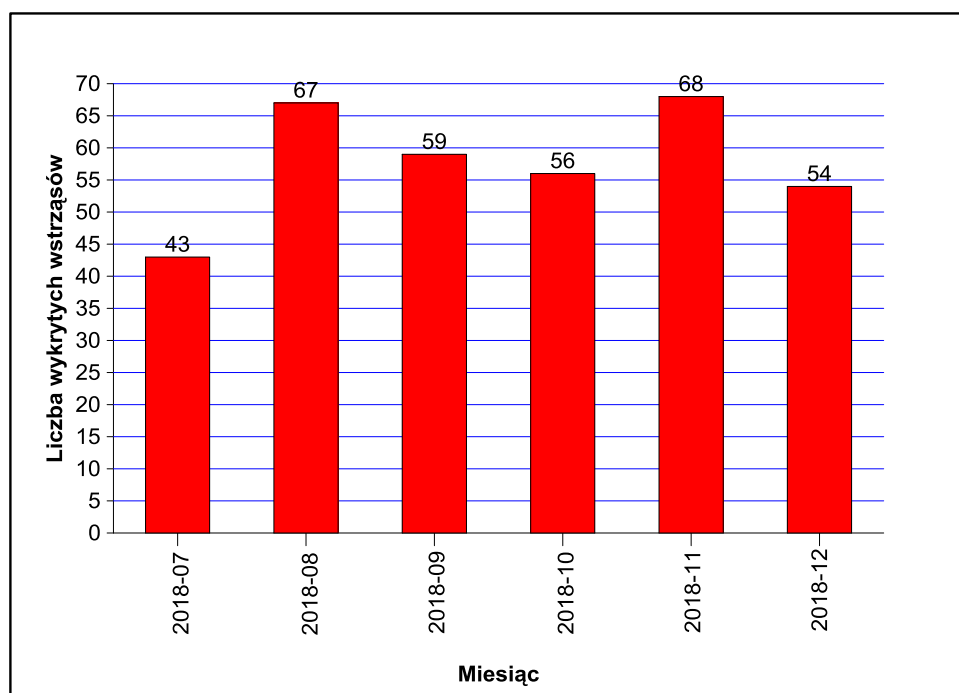
W strefie Skierniewice – łowicz (Strefa S-Ł) w systemie alertowania w drugim półroczu 2018 r. wykryte zostały 3 zjawiska sejsmiczne. Strefa S-Ł została w projekcie „Monitoring geodynamiczny Polski” wyróżniona ze względu na fakt, iż wzdłuż linii pomiędzy Skierniewicami i łowiczem w okresie funkcjonowania sieci PSG_Sejs_NET zarejestrowanych zostało kilkanaście zdarzeń sejsmicznych. Liniowe zgrupowanie kilkunastu zjawisk wykrytych w jednej lokalizacji w niedługim, niespełna dwuletnim okresie funkcjonowania sieci, zasługuje na dodatkowe zbadanie tego obszaru. Aktualnie, we wspomnianej strefie brak jest stacji sejsmicznych.

Poza wspomnianymi wyżej rejonami inne, niesklasyfikowane obszarowo zjawiska zlokalizowane były na pozostałym obszarze kraju. Z uwagi na krótki (półroczny) okres analizy i przestrzenną (raczej przypadkową) lokalizację epicentrów nie zostały w sposób jawny zrejonizowane. Należy mieć na uwadze, że zjawiska te mogą być przejawem zdarzeń telesejsmicznych, tj. zdarzeń odległych od terytorium Polski. W wielu takich przypadkach dochodzące do stacji fale sejsmiczne są tak znacznie osłabione i zniekształcone licznymi falami wtórnymi, że automatyczny system alertowania nie jest w stanie dokonać ich poprawnej analizy.

Statystyczny rozkład detekcji zjawisk przedstawiony został w **tab. 3** oraz na wykresach na **rys. 4** i **rys. 5**. Na 347 zarejestrowanych w sieci PSG_Sejs_NET wstrząsów sejsmicznych większość (68.9%) stanowiły zjawiska poniżej progu odczuwalności M2.5. W przypadku 31.1% zjawisk wielkości magnitud były wyższe.

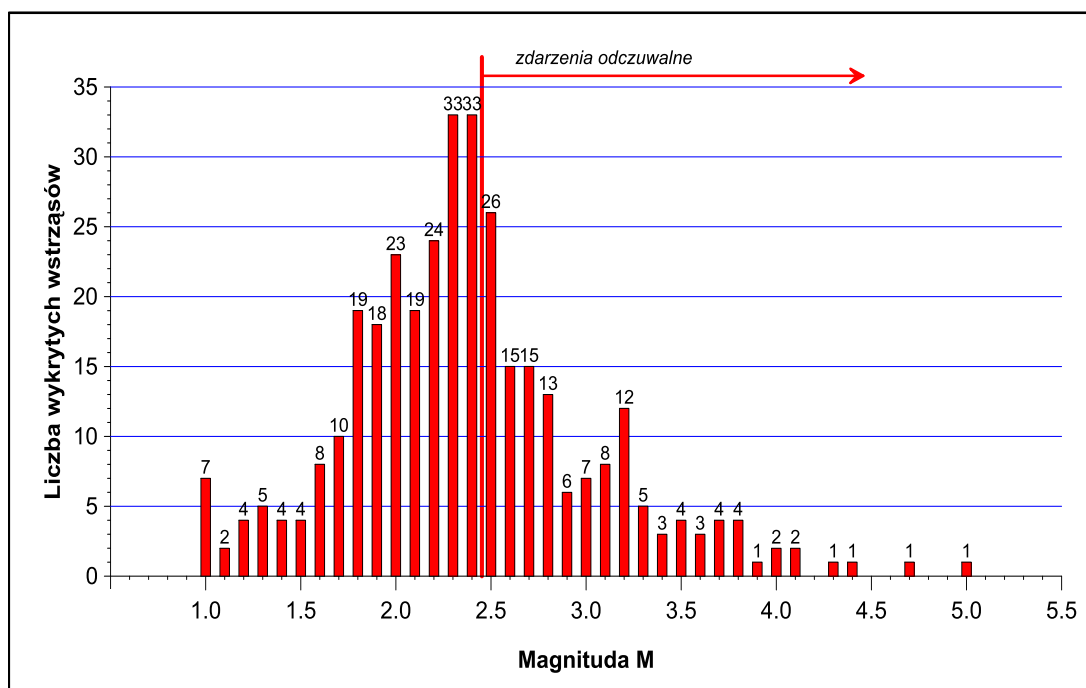
Tab. 3. Liczba zdarzeń sejsmicznych wykrytych w okresie od 1 lipca do 31 grudnia 2018 r. w systemie automatycznego alertowania sieci PSG_Sejs_NET w poszczególnych przedziałach wielkości magnitudy.

Magnituda		Liczba zdarzeń	%
od	do		
1.0	2.5	213	61.4
2.5	3.0	75	21.6
3.0	3.5	35	10.1
3.5	4.0	16	4.6
M>=4.0		8	2.3
Razem:		347	100.0
w tym:	M<=2.5	239	68.9
	M>2.5	108	31.1



Rys. 4. Liczba zjawisk sejsmicznych wykrytych w kolejnych miesiącach w sieci PSG_Sejs_NET przez system automatycznego alertowania w okresie od 1 lipca do 31 grudnia 2018 r.

Z wykresu przedstawionego na **rys. 4** wynika, że liczba zdarzeń sejsmicznych wykrytych w sieci PSG_Sejs_NET w kolejnych miesiącach drugiego półrocza roku 2018 utrzymywała się na zbliżonym poziomie, który (średnia arytmetyczna) wynosił blisko 58 zdarzeń/m-c.



Rys. 5. Rozkład częstości magnitud wstrząsów sejsmicznych zarejestrowanych w systemie automatycznego alertowania sieci PSG_Sejs_NET w okresie od 01.07.2018 do 31.12.2018 r.

Rozkład częstości (**rys. 5**) wstrząsów zarejestrowanych w sieci PSG_Sejs_NET w okresie od 01.01.2018 do 30.06.2018 r. w odniesieniu do wielkości wyznaczonej magnitudy, graficznie ilustruje statystykę wstrząsów zawartą w **tab. 2**. Obwiednia słupków wykresu zbliżona jest kształtem do kształtu krzywej rozkładu normalnego prawdopodobieństwa, charakterystycznego w statystyce zdarzeń losowych. Bazując na danych zarejestrowanych w okresie półrocznego monitoringu sejsmicznego w sieci PSG_Sejs_NET spodziewać się można analogicznych rezultatów także w kolejnych równych i dłuższych odcinkach czasowych. Najliczniej obserwowane i rejestrowane będą nieodczuwalne zdarzenia sejsmiczne, których magnitudy będą miały wielkość mniejszą, ale bliską wielkości magnitudy wyznaczającej próg odczuwalności.

Dane magnetyczne

Równoległe z monitoringiem aktywności sejsmicznej na obszarze Polski w sieci obserwacyjnej PSG_Sejs_Net na stacjach stałych w Dziwiu i w Hołowni prowadzony był ciągły monitoring wariacji ziemskiego pola magnetycznego. Z uwagi na dostępne wyposażenie sprzętowe oraz warunki lokalne, monitoring magnetyczny sprowadzał się do rejestracji zmian czasowych modułu całkowitego wektora indukcji magnetycznej (wektora natężenia pola geomagnetycznego). Obserwacje wykonywane były przy wykorzystaniu magnetometrów protonowych ENVI-Mag firmy Scintrex Ltd. (Kanada) skonfigurowanego do pracy w trybie stacji bazowej.

Dane geodezyjne

Monitoring geodezyjny w okresie drugiego półrocza 2018 roku prowadzony był na stałych stacjach monitoringu geodynamicznego w Dziwiu i w Hołowni. Monitoring geodezyjny obejmuje obserwacje zmian pozycji i wysokości punktów/stanowisk pomiarowych (na słupach pomiarowych), w które wyposażone są obie stacje.

Na mocy Porozumienia o współpracy z dnia 11.05.2016 r. pomiędzy Głównym Geodetą Kraju i Państwowym Instytutem Geologicznym – Państwowym Instytutem Badawczym wyposażenie sprzętowe (anten, odbiorniki, systemy zasilania zainstalowanego sprzętu oraz oprogramowanie) zostały dostarczone i zainstalowane przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii. U uruchomioną aparaturę włączono do geodezyjnego systemu obserwacyjnego i teleinformatycznego ASG-EUPOS zarządzanego przez GUGiK.

Urządzenia GNSS (Global Navigation Satellite Systems) zainstalowane na stacjach DZWE i HOLO umożliwiają sprawdzanie działania serwisów czasu rzeczywistego systemu ASG-EUPOS oraz mogą służyć za precyzyjny wzorzec sygnałów czasu dla urządzeń geofizycznych zainstalowanych na stacjach. Na stacjach zainstalowano odbiorniki satelitarne Trimble NetRS z antenami Trimble Zephyr Geodetic oraz urządzenia zasilające UPS Eaton 5130 1250 RT 2U. Wszystkie urządzenia zostały podłączone do istniejących w laboratoriach sieci: elektrycznej, internetowej i odgromnikowej.

Monitorowanie jakości sygnałów satelitarnych odbywa się w centrum zarządzającym systemu ASG-EUPOS za pomocą modułu RTK Engine oprogramowania Trimble Pivot Platform, które na podstawie danych obserwacyjnych ze stacji oraz strumienia danych korekcyjnych VRS wylicza w czasie

rzeczywistym pozycję i porównuje ją ze współrzędnymi referencyjnymi. Monitorowane są dwa najbardziej popularne strumienie danych korekcyjnych czasu rzeczywistego: NAWGEO_VRS_3_1 (dane z systemu GPS) oraz RTN_VRS_3_1 (dane z systemów GPS i GLONASS).

Wyniki monitorowania gromadzone są na serwerze systemu ASG-EUPOS i przedstawiane na bieżąco na stronie systemu (po wcześniejszym zalogowaniu):

<http://system.asgeupos.pl/MemberPages/PositionScatterPlot.aspx>.

Pomierzone, precyzyjne położenie punktów obserwacji geodezyjnych przedstawiono w **tabeli 4**.

Tab. 4. Współrzędne geodezyjne punktów/stanowisk monitoringu geodezyjnego na stacjach w Dziwiu i w Hołownie.

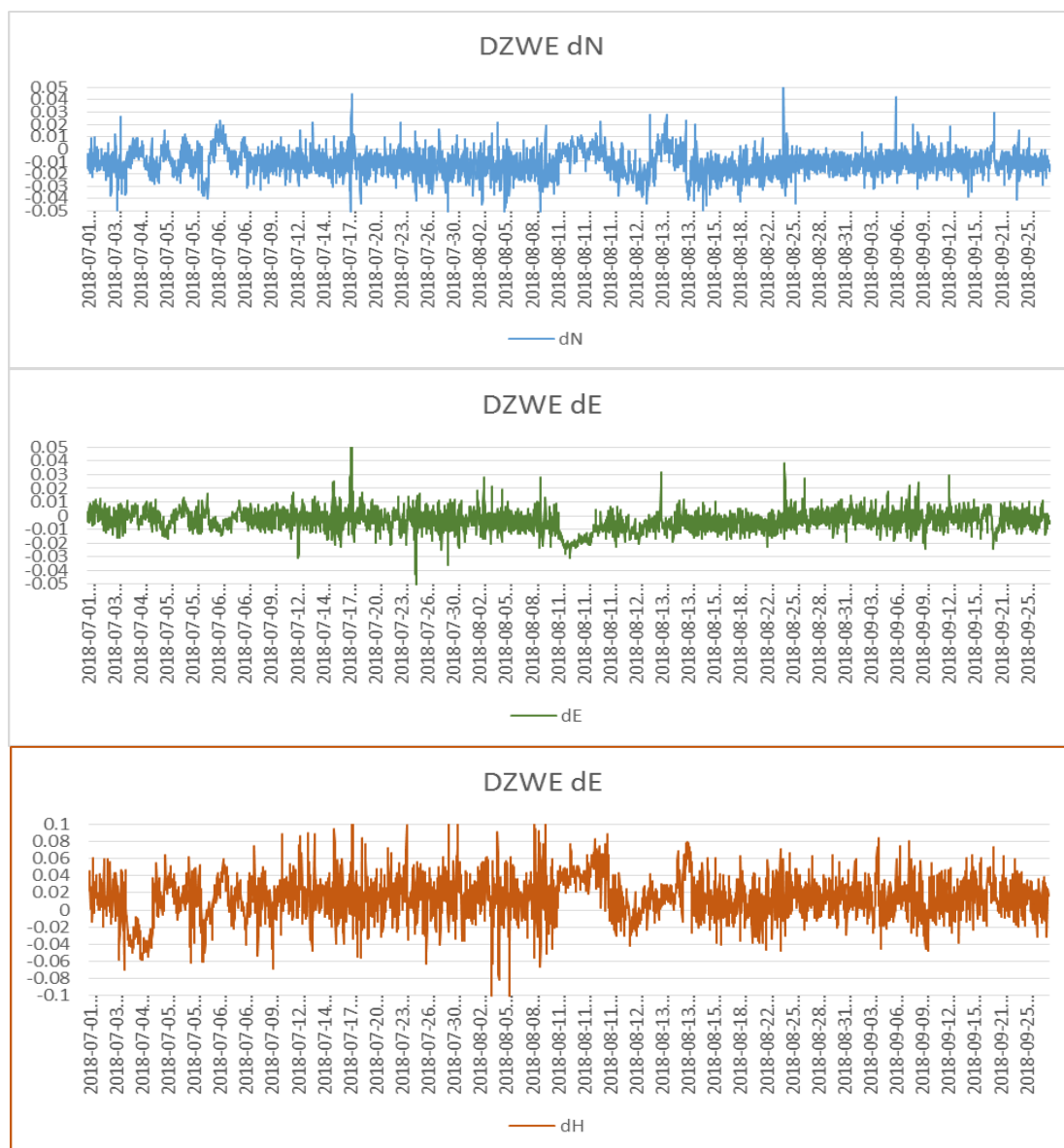
Lp	Stacja	Szer. geogr. (WGS84)	Dł. geogr. (WGS84)	Wysokość elips. (WGS84)
1	HOLO	51 39 05,41283 N	23 11 47,70975 E	187,860
2	DZWE	52 19 21,41835 N	18 55 25,33150 E	162,034

W **tabeli 5** przedstawiono średnie miesięczne zmiany położenia punktu obserwacyjnego GPS obserwowane na stacji w Dziwiu w okresie od 01.07.2018 do 30.09.2018 r.

Tab. 5. Średnie miesięczne zmiany położenia i współrzędnych punktu obserwacji geodezyjnych obserwowane na stacji w Dziwiu w okresie od 01.07.2018 do 30.09.2018 r.

STACJA DZIWIU (DZWE)			
Miesiąc	Składowa północna (N) dN [m]	Składowa wschodnia (E) dE [m]	Wysokość dH [m]
2018/07	-0,010	-0,002	0,012
2018/08	-0,012	-0,006	0,017
2018/09	-0,011	-0,002	0,014

Graficzną ilustrację zmian (wariacji) położenia punktu obserwacyjnego GPS w Dziwiu pokazano na przykładzie zmian zarejestrowanych w systemie ASG-EUPOS w III kwartale 2018 roku (**rys. 6**).



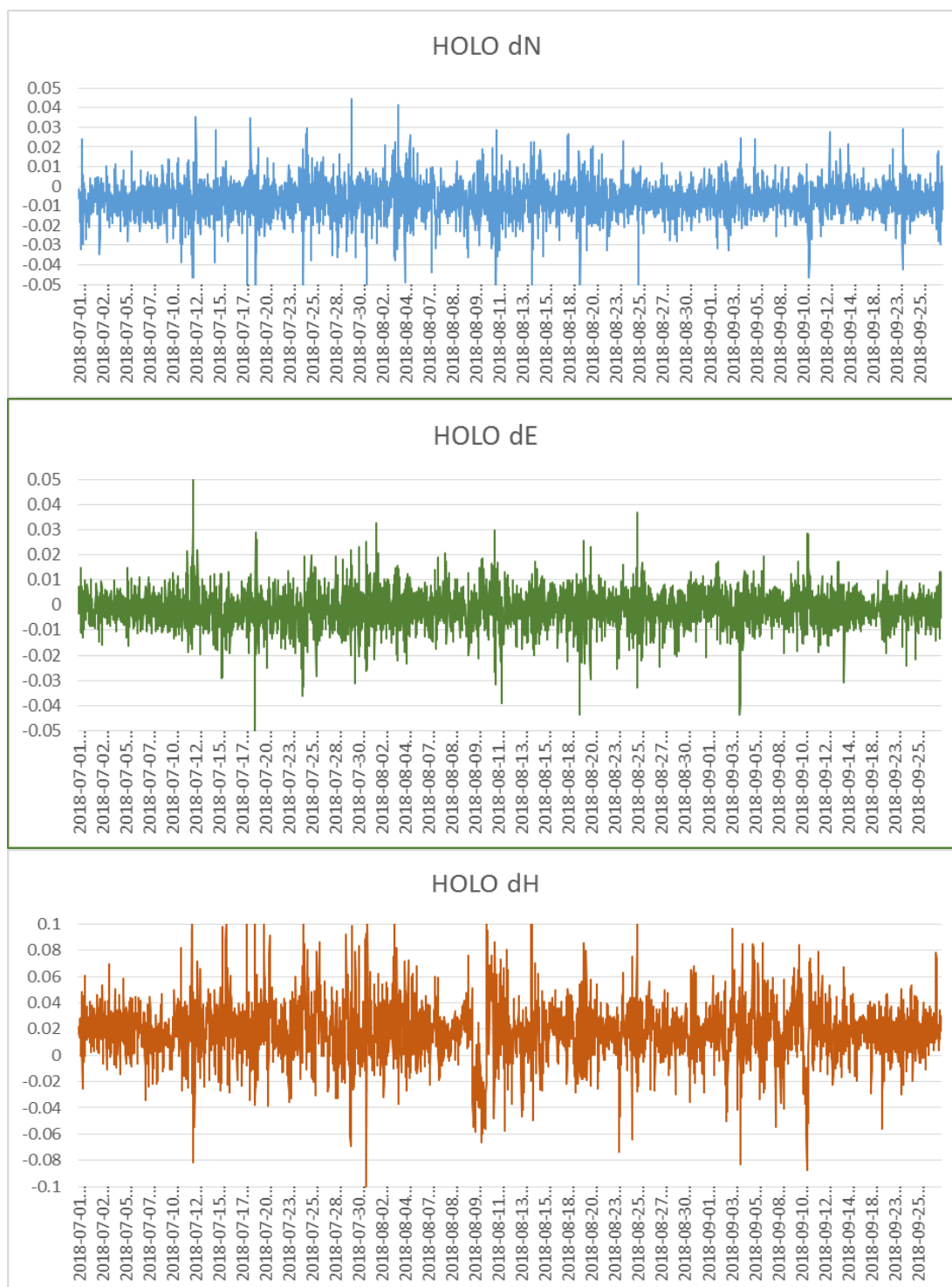
Rys. 6. Wariacje składowych położenia punktu obserwacji GPS w okresie III kwartału 2018 r. na stacji w Dziwiu.

Średnie miesięczne zmiany położenia punktu obserwacyjnego GPS obserwowane w okresie od 01.07.2018 do 31.12.2018 r. na stacji w Hołownie przedstawiono w tabeli 6.

Tab. 6. Średnie miesięczne zmiany położenia i współrzędnych punktu obserwacji geodezyjnych obserwowane na stacji w Hołownie w okresie od 01.07.2018 do 30.09.2018 r.

STACJA HOŁOWNO (HOLO)			
Miesiąc	Składowa północna (N) dN [m]	Składowa wschodnia (E) dE [m]	Wysokość dH [m]
2018/07	-0,007	-0,002	0,019
2018/08	-0,006	-0,002	0,017
2018/09	-0,006	-0,001	0,018

Analogicznie jak dla stacji Dziwie, graficzną ilustrację zmian (wariacji) położenia punktu obserwacyjnego GPS w Hołownie pokazano na przykładzie zmian zarejestrowanych w systemie ASG-EUPOS w III kwartale 2018 roku (**rys. 7**).



Rys. 7. Wariacje składowych położenia punktu obserwacji GPS w okresie III kwartału 2018 r. na stacji w Hołownie.

Ocena wyników obserwowanych zmian położenia punktów obserwacyjnych zostanie przeprowadzona po zakończeniu II półrocza obserwacji i dostarczeniu wyników przez GUGiK. Analizy dotychczasowych danych wskazują na bardzo dobrą, trwałą stabilizację punktów. W przypadku dalszego potwierdzenia stabilności stanowisk podjęte zostaną starania o włączenie tych lokalizacji do europejskiej sieci geodezyjnej EPN i do systemu obserwacji międzynarodowych.

Dane grawimetryczne

Stałe stacje monitoringu geodynamicznego w Dziwiu i w Hołownie zostały zaprojektowane do pomiarów i obserwacji różnych parametrów odnoszących się do pól wielkości fizycznych. Laboratoria pomiarowe na stacjach stałych PSG znakomicie nadają się do monitoringu zmian przyspieszenia ziemskiego pola grawitacyjnego zarówno pod kątem wyposażenia w stabilne stanowiska (słupy) pomiarowe oraz infrastrukturę techniczną, jak również z uwagi na dostępność do innych danych między innymi z monitoringu hydrogeologicznego, niezbędnych do redukcji danych pomiarowych z precyzyjnych pomiarów grawimetrycznych.

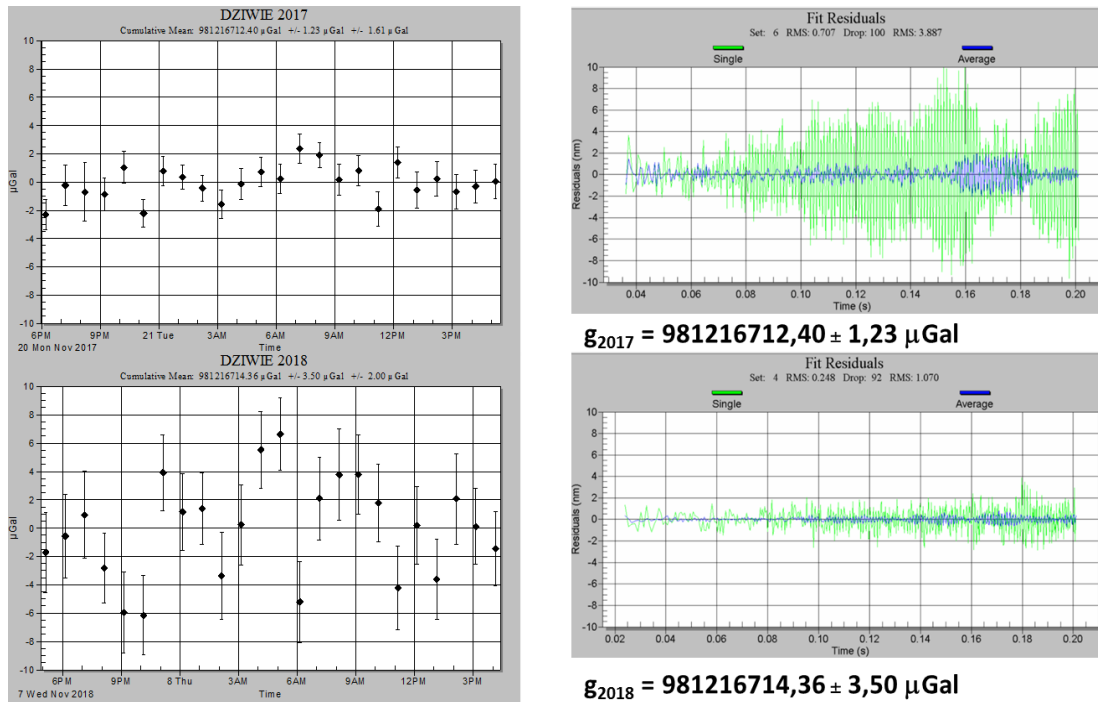
W listopadzie 2018 r. na stanowiskach pomiarowych obu stacji stałych Monitoringu geodynamicznego Polski wykonano serie grawimetrycznych pomiarów absolutnych. Prace wykonane zostały zgodnie z metodyką zastosowaną w badaniach testowych w 2017 roku.

Pomiary absolutne, pomiary gradientu oraz obserwacje zmian pływowych, przyspieszenia siły ciężkości wykonano na stacji w Dziwiu w dniach od 07.11.2018 do 09.11.2018 r., zaś w Hołownie w dniach od 14.11.2018 do 16.11.2018 r. W obu przypadkach do pomiarów absolutnych użyty został grawimetr balistyczny FG-5 nr 230.

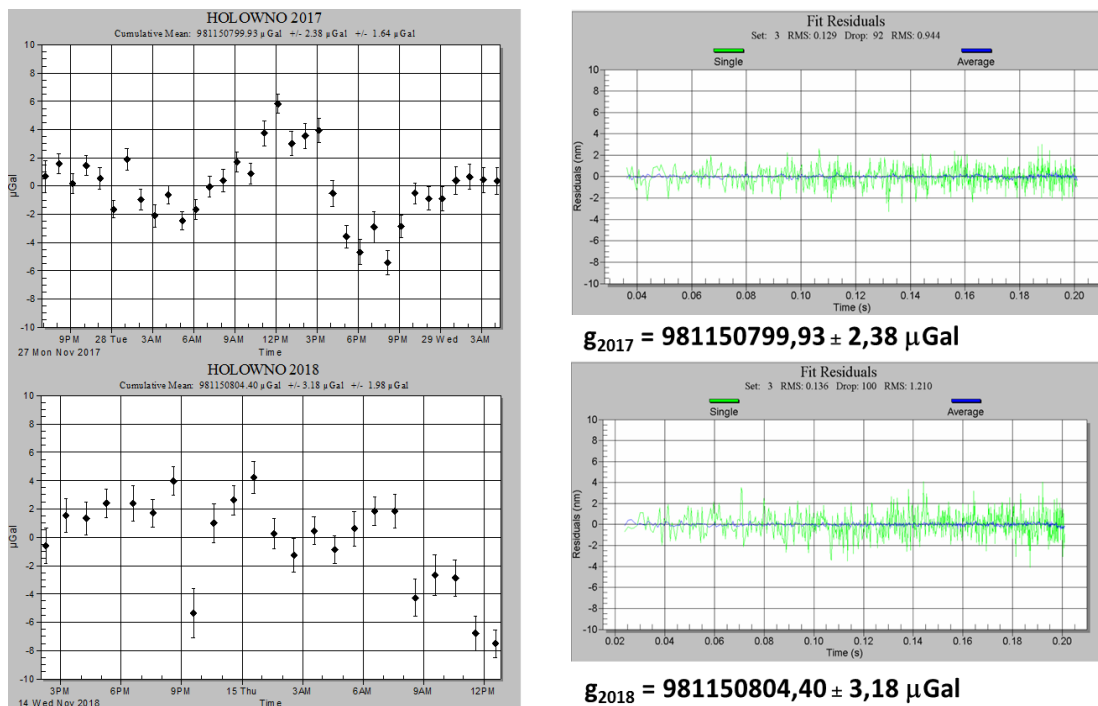
Typowa sesja pomiarowa grawimetrem FG-5 składa się z od 12 do nawet 48 serii obserwacyjnych, powtarzanych co godzinę. Na stacjach w Dziwiu i Hołownie zastosowano pełną, dobową sesję, czyli 24 serie obserwacyjne. Pojedyncza seria obserwacyjna (set) składa się ze stu spadków (drop) powtarzanych co 10 sekund. Średnia wartość przyspieszenia wyznaczonego dla pojedynczej serii obserwacyjnej cechuje się odchyleniem standardowym zależnym od jakości punktu pomiarowego pod względem sejsmicznym. W wyjątkowo dobrych warunkach jest to $\pm 4 \mu\text{Gal}$. Za dobre uchodzą punkty, na których odchylenie standardowe obserwacji w pojedynczej serii nie przekracza $\pm 20 \mu\text{Gal}$.

Zgodnie z planem technicznym na punktach obserwacyjnych słupów pomiarowych wykonano co najmniej 24 serie pomiarowe po minimum 100 spadków każda. Serie obserwacyjne odbywały się w godzinnych interwałach. Za ostateczną wartość przyspieszenia przyjmowana była średnia z wszystkich serii obserwacyjnych wykonanych na punkcie. W średniej uwzględnione zostały poprawki: pływowa litosferyczna pływowa uwzględniającą przemieszczanie mas morskich, barometryczna i poprawka ze względu na zmiany położenia bieguna.

Wyniki dobowych sesji pomiarów absolutnych na stacjach w Dziwiu i Hołownie po opracowaniu serii pomiarowych przedstawiono na **rys. 8** i **rys. 9**. Dla porównania zamieszczone zostały również rezultaty pomiarów testowych, wykonanych w 2017 roku.



Rys. 8. Rezultaty absolutnych pomiarów przyspieszenia siły ciężkości wykonanych na stacji monitoringu geodynamicznego PSG w Dziwiu w roku 2017 i 2018.



Rys. 9. Rezultaty absolutnych pomiarów przyspieszenia siły ciężkości wykonanych na stacji monitoringu geodynamicznego PSG w Hołownie w roku 2017 i 2018.