MONITORING GEODYNAMICZNY POLSKI
PAŃSTWOWEJ SŁUŻBY GEOLOGICZNEJ

PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Raport nr 06/2024
z dnia 15/07/2024 r.

z wyników monitoringu pola geomagnetycznego zarejestrowanych
w czerwcu 2024 r.
na stacjach geodynamicznych PSG w Dziwiu i w Hołownie.

Zawartość raportu:

1. Obserwacje wariacji ziemskiego pola magnetycznego realizowane przez PSG.
2. Lokalizacja stacji monitoringu pola geomagnetycznego.
3. Wyniki obserwacji zmian wartości całkowitego wektora indukcji pola magnetycznego Ziemi w laboratorium geodynamicznym w Hołownie.

Załącznik nr 1 - Zestawienie dobowych magnetogramów zarejestrowanych w czerwcu 2024 na stanowisku monitoringu magnetycznego w Hołownie.

Projekt PSG - Monitoring Geodynamiczny Polski – etap IV (MGP-IV)

WYKONANO NA ZAMÓWIENIE MINISTRA KLIMATU I ŚRODOWISKA
ZA ŚRODKI FINANSOWE WYPŁACONE
PRZEZ NARODOWY FUNDUSZ OCHRONY ŚRODOWISKA I GOSPODARKI WODNEJ

Warszawa 15/07/2024 r.

1. Lokalizacja stacji monitoringu geomagnetycznego PSG.

Państwowa służba geologiczna (PSG) w ramach projektu **Monitoring Geodynamiczny Polski** prowadzi ciągły monitoring zmienności ziemskiego pola magnetycznego. Obserwacje realizowane są na dwóch stanowiskach pomiarowych, zlokalizowanych w dwóch, stałych stacjach monitoringu geomagnetycznego PSG: w laboratorium geodynamicznym położonym w Dziwiu (stacja **DZIW**), w gm. Przedecz w powiecie kolskim oraz w laboratorium w Hołownie (stacja **HOLO**) zlokalizowanym w gm. Podedwórze w pow. parczewskim. Lokalizacja stacji zaprezentowana została na mapie (**rys. 1**).

Rys. 1. *Mapa lokalizacji stanowisk PSG ciągłego monitoringu pola geomagnetycznego (mapa bazowa CIA).*

W linii prostej oba stanowiska obserwacji geomagnetycznych dzieli odległość ok. 300.5 km. Z punktu widzenia budowy geologicznej każde z nich usytuowane jest na obszarach należących do różnych jednostek geologicznych Polski. Stacja DZIW zlokalizowana jest na obszarze platformy paleozoicznej słabo zróżnicowanej magnetycznie, stacja HOLO - na obszarze prekambryjskiej platformy wschodnioeuropejskiej, silnie zróżnicowanej magnetycznie.

Położenie obu stanowisk obserwacji geomagnetycznych determinuje dużą różnicę w poziomach obserwacji danych magnetycznych. Wyznaczona w październiku 2023 r. różnica poziomów pomiędzy stacjami wyniosła **+823.55 nT** na korzyść stacji HOLO, przy odchyleniu standardowym serii pomiarowych równym **1.57 nT**. Różnica ta – podobnie jak inne cechy i parametry pola magnetycznego Ziemi – jest zmienna w czasie. Zmienność poziomów podlega długookresowym zmianom pola magnetycznego Ziemi, których wielkość i tempo zależą również od położenia punktu obserwacji.

W dniu 08/05/2024 r. w laboratorium geodynamicznym stacji PSG w Dziwiu został czasowo wstrzymany monitoring geomagnetyczny. Zatrzymanie monitoringu spowodowane zostało koniecznością wykonania modernizacji instalacji protonowego magnetometru bazowego stacji. Modernizacja obejmuje ułożenie w gruncie rury PVC mającej stanowić osłonę kabla sygnałowego, łączącego sondę magnetyczną, zlokalizowaną na zewnątrz laboratorium z magnetometrem bazowym, zainstalowanym we wnętrzu laboratorium. Ponadto w ramach modernizacji instalacji monitoringu magnetycznego zaplanowana jest wymiana kabla sygnałowego. Monitoring geomagnetyczny na stacji geodynamicznej PSG w Dziwiu zostanie wznowiony po dokonaniu zakupu i uzbrojeniu nowego kabla.

2. Obserwacje wariacji ziemskiego pola magnetycznego realizowane przez PSG.

Z uwagi na dostępne wyposażenie sprzętowe oraz warunki lokalne, które ograniczają możliwości instalacji wielu sensorów magnetycznych, monitoring magnetyczny na obu stanowiskach sprowadza się do rejestracji zmian czasowych wartości modułu całkowitego wektora $\boldsymbol{B_T}$ indukcji pola geomagnetycznego.

Do prowadzenia ciągłych obserwacji pola geomagnetycznego wykorzystane są magnetometry protonowe ENVI-MAG prod. firmy Scintrex Ltd. (Kanada), skonfigurowane do pracy w trybie stacji bazowej. W ramach realizowanego projektu PSG rutynowy monitoring magnetyczny rozpoczęto w grudniu 2016 r. równolegle w obu - wspomnianych wyżej - laboratoriach.

Akwizycja i zapis danych prowadzony jest w trybie dyskretnego próbkowania z 60 s częstością odczytów. Dokładność pomiarów zdefiniowana została ustaloną długością czasu polaryzacji sondy magnetycznej (2 s) w trakcie wykonywania pojedynczego cyklu pomiarowego. Czas polaryzacji sondy magnetycznej pozwala na pomiar indukcji pola geomagnetycznego z precyzją 0.1 nT. Na obu stacjach magnetycznych, zainstalowanych w Dziwiu i w Hołownie, konfiguracja magnetometrów jest identyczna, z wyjątkiem ustalonych wartości wielkości pola referencyjnego, dostosowanego do średniego, lokalnego poziomu indukcji pola geomagnetycznego.

Ziemskie pole magnetyczne jest naturalnym polem fizycznym, które podlega ciągłym zmianom. Obserwowane zmiany (wariacje) pola mają złożoną charakterystykę czasową począwszy od krótkotrwałych, nieregularnych zmian obserwowanych w czasie minut i godzin poprzez charakterystyczne, regularne zmiany dobowe oraz zmiany roczne, wieloletnie (związane z jedenastoletnim cyklem słonecznym), aż po zmiany wiekowe i zmiany występujące w dłuższych cyklach w okresach pomiędzy zmianami biegunów magnetycznych Ziemi. Zmiany pola magnetycznego mają znaczący wpływ na wiele procesów, jakie zachodzą zarówno na powierzchni, jak i w głębi planety, a także na różnego rodzaju produkty i procesy technologiczne powstające i funkcjonujące jako konsekwencje i osiągnięcia rozwoju cywilizacyjnego.

W odniesieniu do wpływu na procesy antropogeniczne najbardziej istotne są i największy wpływ mają krótkookresowe i wieloletnie wariacje pola geomagnetycznego. Te pierwsze są spowodowane głównie interakcjami zachodzącymi w magnetosferze ziemskiej pod wpływem oddziaływania cząstek

materii i fal promieniowania kosmicznego. W szczególności dotyczy to interakcji ziemskiego pola magnetycznego z wiatrem słonecznym, tj. strumieniem protonów i elektronów emitowanym z korony słonecznej w przestrzeń kosmiczną, a także ze strumieniami zjonizowanej plazmy towarzyszącym tzw. rozbłyskom słonecznym oraz koronalnym wyrzutom masy. Jednym z wyników interakcji strumieni plazmy wyrzucanych ze słońca z magnetosferą ziemską oraz jonosferą są szybkozmienne, wysokoamplitudowe wariacje natężenia pola magnetycznego obserwowanego na powierzchni planety, w tym przede wszystkim, pojawiających się w wysokich, okołobiegunowych szerokościach geograficznych, którym towarzyszą bardziej spektakularne zjawiska zórz polarnych.

3. Wyniki obserwacji zmian wartości całkowitego wektora indukcji pola magnetycznego Ziemi w laboratorium geodynamicznym PSG w Hołownie w miesiącu czerwcu 2024.

Na **załączniku 1** zaprezentowane zostały wykresy zmian dobowych modułu indukcji pola geomagnetycznego zarejestrowane na stacji w Hołownie (**zał. 1**) w czerwcu 2024 r.

W miesiącu czerwcu br. dobowe wariacje indukcji pola geomagnetycznego dają się scharakteryzować w oparciu o rejestracje pola magnetycznego obserwowane jedynie na stacji w Hołownie (jak wcześniej wspomniano rejestracje na stacji magnetyczne w laboratorium w Dziwiu zostały tymczasowo zawieszone). Magnetogramy zarejestrowane w laboratorium w Hołownie w czerwcu obejmują dane zarejestrowane od dnia 01/06 do 30/06/br.

W dniach 06, 12, 13 i 14 czerwca wystąpiły luki w zapisie danych pomiarowych. W dniu 6 czerwca luka trwała ok 2 godz. 20 min. Spowodowana była wyłączeniem monitoringu w celu przeprowadzenia czynności serwisowych stacji magnetyczne. W dniach 12, 13 i 14 czerwca przerwy w zapisie danych trwały odpowiednio 17.5 godz., 24 godz. oraz 18.5 godz. Przyczyna wyłączenia rejestratora nie została zidentyfikowana.

W trakcie rutynowych obserwacji pola geomagnetycznego w okresie miesiąca czerwca na stacji geodynamicznej w Hołownie zarejestrowano szereg gwałtownych zaburzeń pola spowodowanych zmianami aktywności na powierzchni słońca. Ogółem zarejestrowano 2 dni z silnymi burzami magnetycznymi, które, wg. pięciostopniowej klasyfikacji burz magnetycznych (od G1 do G5) zgodnie ze skalą przyjętą przez amerykańską, rządową agencję NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, osiągnęły poziom od G2-G3 w dniu 07/06, zaś w dniu 28/06 wielkość G4. Ponadto, w trakcie 17 dób zarejestrowano również pojedyncze, niewielkie zjawiska burzowe, odpowiadające klasie burz G1, spowodowane pojedynczymi rozbłyskami na powierzchni słońca towarzyszącymi epizodycznym, niewielkim, koronalnym wyrzutom masy. Ogółem w czerwcu br. zmiany pola geomagnetycznego cechowały się znaczną niestabilnością, wyraźnie odbiegającą od typowych zmian dobowych powodowanych stałym wiatrem słonecznym.

Wynik porównania czerwcowych obserwacji stanu pola magnetycznego Ziemi do zmienności tego pola obserwowanego w miesiącach poprzedzających (styczeń – maj br.) jednoznacznie wskazuje, że częstość rejestrowanych w maju anomalnych zjawisk w magnetosferze ziemskiej wzrosła.

Silne burze magnetyczne zarejestrowane w dniach 07 czerwca (G2-G3) i 28 czerwca. Nie były one tak silne jak ekstremalne burze magnetyczne wielkości G5, które zarejestrowane zostały w maju br. (najsilniejsze od początku obserwacji geomagnetycznych prowadzonych w laboratoriach PSG od 2016 roku). Maksymalna amplituda zmian modułu całkowitego wektora indukcji magnetycznej osiągnęła na stacji geodynamicznej w Hołownie wielkość blisko 140 nT w dniu 7 czerwca, zaś 28 czerwca nawet 200 nT.

Zjawisko pojawienia się burz magnetycznych jest ścisłe związane z aktywnością słoneczną. Przyczyną burz są miedzy innymi zaburzenia strumienia (gęstości cząstek i ich prędkości) wyrzucanych z powierzchni Słońca w przestrzeń kosmiczną, stanowiących wiatr słoneczny. Zderzenie cząstek wiatru słonecznego i zjonizowanej materii z magnetosferą ziemską powoduje jej kompresję od strony nadlatujących cząstek i rozciągnięcie zasięgu magnetosfery w przestrzeni kosmicznej po stronie

przeciwnej. Zmienność czynników zewnętrznych oddziaływujących z polem magnetycznym Ziemi jest przyczyną zmian tego pola przenoszących się drogą indukcji na jej powierzchnię.

Bieżący stan pozaplanetarnych czynników, które oddziałują na pole magnetyczne Ziemi, jonosferę, atmosferę, hydrosferę i jej powierzchnię wyznacza aktualny stan tzw. „pogody kosmicznej". Badaniami tych czynników i ich wpływem na życie na Ziemi zajmują się wyspecjalizowane ośrodki naukowe, instytucje i agencje rządowe w tym, między innymi, NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA) w Stanach Zjednoczonych (www.noaa.gov). W ramach swoich zadań NOAA prowadzi monitoring tych czynników wraz z ich analizą jakościowo-ilościową. W ramach NOAA funkcjonuje Centrum Prognozowania Pogody Kosmicznej (SPACE WEATHER PREDICTION CENTER – SWPC), którego zadaniem jest przewidywanie stanu tych czynników w czasie i oceny potencjalnych zagrożeń związanych z wpływem na różne aspekty życia na Ziemi.

W trakcie trwania burz magnetycznych całkowity wektor indukcji ziemskiego pola magnetycznego $\boldsymbol{B_T}$ ulega nieustannym zmianom w czasie jako wypadkowa zmian jego składowych: ***X*** – składowa wschodnia, ***Y*** – północna i ***Z*** – pionowa. Zmiany obejmują również elementy pola magnetycznego ***H*** – składowa pozioma, ***D*** – deklinacja, ***I*** – inklinacja wektora indukcji.

Silne burze magnetyczne (klasy G4, G5) zdarzają się stosunkowo rzadko. Zazwyczaj rejestruje się ok. 100 burz klasy G4 w trakcie jednego, jedenastoletniego cyklu słonecznego. Dla porównania typowe, słabe zaburzenia magnetyzmu ziemskiego (tzw. „zaburzenia zatokowe") obserwuje się statystycznie w ilości ok. 1700 razy w ciągu 1 cyklu słonecznego (ok. 900 dni z zaburzeniami). Burze ekstremalne G5 statystycznie zaledwie czterokrotnie w trakcie trwania 1 cyklu. Częstość zjawisk burzowych jest zależna od bieżącej aktywności Słońca. W szczycie 11 – letniego cyklu, kiedy aktywność słoneczna osiąga swoje apogeum prawdopodobieństwo, ryzyko i częstość wystąpienia silnej burzy są najwyższe.

Wielkość burzy magnetycznej odzwierciedla stan zaburzeń magnetosfery ziemskiej. Stan ten charakteryzuje wielkość tzw. „indeksu pogody kosmicznej" Kp, który przyjmuje wartości od 0 do 9. Indeks Kp jest prognozowany i wyznaczany jako średnia ważona indeksów K określonych na podstawie zmian składowych wektora indukcji geomagnetycznej obserwowanego w 13 ustalonych obserwatoriach geomagnetycznych, zlokalizowanych na obszarze półkuli północnej. Indeksy K i Kp wyznaczane są w trzygodzinnych interwałach z wyprzedzeniem 3 dób obserwacji. Prognoza wielkości indeksu i przewidywana na tej podstawie skala zaburzeń ziemskiego pola magnetycznego stanowią istotną informację pozwalającą ograniczać potencjalnie niekorzystny, przyszły wpływ szybkich zmian pola magnetycznego Ziemi na infrastrukturę energetyczną na jej powierzchni, zakłócenia ruchu sztucznych satelitów Ziemi, łączność radiową z wykorzystaniem fal radiowych przechodzących przez jonosferę ziemską lub od niej odbitych, a także na systemy pozycjonowania satelitarnego.

Na **rys. 2** przedstawiono wykresy zmienności indeksu Kp prognozowane z wyprzedzeniem trzydniowym w okresie miesiąca czerwca br. Wykresy przedstawiono w formacie dekadowym tj. od 01 do 10.06, 11-20.06 oraz od 21 do 30.06.2024. Na wykresach zaznaczona została skala burz magnetycznych odpowiadająca indeksom Kp: G1- $4 \leq Kp < 5$, G2 – $5 \leq Kp < 6$, G3 - $6 \leq Kp < 7$, G4 – $7 \leq Kp < 8$, G5 – $8 \leq Kp < 9$.

Rys. 2. *Zmiany indeksu Kp „pogody kosmicznej" w m-cu czerwcu 2024 r (dane wg. NOAA).*

Zmiany wielkości modułu indukcji ziemskiego w oraz wykresy dynamiki zmian pola magnetycznego zarejestrowane w dniach najsilniejszych, majowych zaburzeń tj. w dniach **07 i 28 czerwca** zaprezentowane zostały w oparciu o dane z monitoringu pola geomagnetycznego ze stacji geomagnetycznej w laboratorium PSG w Hołownie.

Anomalie pola geomagnetycznego z dnia 07 czerwca (UTC) br. z monitoringu geomagnetycznego w laboratorium geodynamicznym PSG w Hołownie zaprezentowano na rysunku **rys. 3.** Zaprezentowane wykresy obrazują zmiany modułu całkowitego wektora indukcji geomagnetycznej $\boldsymbol{B_T}$, wykres słupkowy wielkości indeksu ***Kp*** w 3 godzinnych interwałach predykcji danych oraz dynamikę zmian modułu całkowitego wektora indukcji w czasie dla jednominutowych obserwacji pola $\boldsymbol{dB_T/dt}$. Krzywe wykreślone kolorem czerwonym pokazują dobowe wariacje modułu indukcji ziemskiego pola magnetycznego. Kolorem niebieskim pokazano zapis z dnia **24/04/2024** r., tj. z obserwacji wykonanych w kwietniu br., w dniu, w którym stopień zmienności typowej krzywej dziennej był minimalny (wykres referencyjny, niezakłócony).

Odpowiednio do wykresów zaprezentowanych na **rys. 3** na kolejnym rysunku (**rys. 4**) pokazano analogiczną prezentację obserwacji wykonanych w dniu 28/06/2024 r.

W czerwcu br. na stacji monitoringu geodynamicznego PSG w Hołownie w zapisie zmian wartości całkowitego modułu indukcji geomagnetycznej kilkukrotnie rejestrowano zakłócenia sygnału pomiarowego. W trakcie miesiąca zdarzał się jeden przedział czasowy o długości trwania ok. 1.5 godziny (w dniu 03/06/br.), w których zakłócenia były na tyle silne, że całkowicie uniemożliwiły proces filtracji i odtworzenie prawidłowego sygnału.

Ogółem w czerwcu br. w laboratorium geodynamicznym w Hołownie utracone zostały dane z łącznej ilości 62.5 godz. obserwacji, tj. 8.7% danych magnetycznych przy nominalnym czasie 720 godz. dobowego monitoringu od 01/06 – 31/06/2024 r.

Rys. 3. *Magnetogram z monitoringu modułu całkowitego wektora indukcji pola geomagnetycznego zarejestrowany w dniu 07/06/2024 r. na stacji geodynamicznej PSG zlokalizowanej w Hołownie (gm. Podedworze, pow. parczewski).*

A *–wykres rejestrowanych zmian modułu całkowitego wektora indukcji pola geomagnetycznego* $\boldsymbol{B_T}$.

B *– wykres zmian indeksu* ***Kp*** *określającego stan „pogody kosmicznej" (wg. NOAA-SWPC –Centrum Prognoz Pogody Kosmicznej www.swpc.noaa.gov.us).*

C *– wykres dynamiki zmian w czasie modułu wektora indukcji pola magnetycznego Ziemi* $\boldsymbol{dB_T/dt}$.

Rys. 4. *Magnetogram z monitoringu modułu całkowitego wektora indukcji pola geomagnetycznego zarejestrowany w dniu 28/06/2024 r. na stacji geodynamicznej PSG zlokalizowanej w Hołownie (gm. Podedworze, pow. parczewski).*

A *–wykres rejestrowanych zmian modułu całkowitego wektora indukcji pola geomagnetycznego* $\boldsymbol{B_T}$.

B *– wykres zmian indeksu* ***Kp*** *określającego stan „pogody kosmicznej" (wg. NOAA-SWPC –Centrum Prognoz Pogody Kosmicznej www.swpc.noaa.gov.us).*

C *– wykres dynamiki zmian w czasie modułu wektora indukcji pola magnetycznego Ziemi* $\boldsymbol{dB_T/dt}$.

W najbliższych kilku latach spodziewać się można zwiększenia częstości występowania krótkookresowych, nieregularnych zmian pola magnetycznego wywołanych wpływem Słońca na pole magnetyczne Ziemi. W roku 2025 przypada maksimum w 11 letnim cyklu aktywności słonecznej. W latach bezpośrednio poprzedzających oraz następujących maksimum aktywności słonecznej obserwuje się również narastanie, a po osiągnięciu szczytu będzie następował spadek częstości zaburzeń pola geomagnetycznego spowodowanych wiatrem słonecznym oraz zwiększoną częstością występowania innych zjawisk mających swoje źródła w przypowierzchniowych warstwach atmosfery słonecznej.