



**MONITORING GEODYNAMICZNY POLSKI
PAŃSTWOWEJ SŁUŻBY GEOLOGICZNEJ**

**PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY**

**Raport nr 12/2024
z dnia 10/01/2025 r.
z wyników monitoringu pola geomagnetycznego zarejestrowanych
w grudniu 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 październiku 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**



**Ministerstwo
Klimatu i Środowiska**



**NARODOWY FUNDUSZ
OCHRONY ŚRODOWISKA
i GOSPODARKI WODNEJ**

Warszawa 10/01/2025 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 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 monitoringu geodynamicznego PSG rutynowy, ciągły 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 częstotliwością 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 (w okresie, w którym stacja była aktywna oraz w przyszłości po zakończeniu modernizacji i wznowieniu aktywności stacji) oraz w Hołowni, konfiguracja magnetometrów była i będzie 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, pojawiające 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 listopadzie 2024.

W miesiącu grudniu 2024 roku dobowe wariacje indukcji pola geomagnetycznego dają się scharakteryzować jedynie w oparciu o rejestracje pola magnetycznego obserwowane na stacji w Hołownie. Jak wcześniej wspomniano obserwacje na stacji magnetycznej w laboratorium w Dziwiu zostały tymczasowo zawieszone.

Na **załączniku 1** zaprezentowane zostały wykresy zmian dobowych modułu indukcji pola geomagnetycznego zarejestrowane w Hołownie (**zał. 1**) w grudniu 2024 r. Wykresy są efektem postprocessingu danych surowych, który obejmuje automatyczną i półautomatyczną filtrację krótkotrwałych, impulsowych, indukcyjnych, zewnętrznych zakłóceń rejestrowanych przez magnetometr bazowy, zainstalowany w pomieszczeniu laboratorium geodynamicznego stacji w Hołownie.

Magnetogramy prezentują komplet danych z obserwacji zmian modułu całkowitego wektora indukcji geomagnetycznej zarejestrowanych od dnia 01/12 do 31/12/2024.

W trakcie rutynowych obserwacji pola geomagnetycznego w okresie miesiąca grudnia na stacji geodynamicznej w Hołownie nie zarejestrowano praktycznie żadnych, większych zaburzeń pola geomagnetycznego. Pod tym względem miesiąc grudzień, podobnie jak poprzedzający go listopad, zaliczyć można do najbardziej spokojnych magnetycznie miesięcy w całym, 2024 roku. Rejestrowane dobowe zmiany modułu całkowitego wektora indukcji pola magnetycznej niewiele się różniły od typowych zmian dobowych, jakie zazwyczaj rejestruje się w czasie poza szczytami w czasie trwania jedenastoletnich cykli aktywności słonecznej.

Niewielkie zaburzenia w normalnym przebiegu dobowych krzywych modułu wektora indukcji magnetycznej zostały zarejestrowane w grudniu kilkakrotnie w dniach; 03/12, 09/12 oraz od 15/12 do 24/12, a także w dniu 31 grudnia. W dniach tych rejestrowane fluktuacje indukcji pola magnetycznego były niewielkie (amplitudy zmian nie przekraczały wielkości 20 nT), a ponadto maksymalny czas ich trwania ograniczony był zazwyczaj do 1 h. Były to typowe zaburzenia „zatokowe”, jakie zazwyczaj powodują krótkotrwałe, słabe rozbłyski słoneczne. Wyjątkowo w dniu 17 grudnia zaburzenia w postaci szybkozmiennych oscylacji wielkości indukcji trwały dłużej tj. przez okres ponad 0.5 doby (przy jednoczesnych niewielkich fluktuacjach wartości), zaś w dniu 31 grudnia, pod koniec doby, na magnetogramie pojawił się anomalny spadek wartości indukcji, który poprzedzał silną burzę magnetyczną, jaka zarejestrowana została dobie później w pierwszym dniu Nowego Roku. W okresie całego miesiąca z wyjątkiem 17 grudnia indeks pogody kosmicznej **Kp** utrzymywał się na niskim bądź umiarkowanym poziomie poniżej wartości 5.0 (**rys. 2**). W dniu 17 grudnia, w przedziale godzinowym od 03:00 do 06:00 (wg. czasu UTC) jego wartość nieznacznie przekroczyła poziom **Kp=5**, co odwzorowało się w magnetosferze ziemskiej w postaci krótkiej, niewielkiej burzy magnetycznej klasy G1. Przyczyną tego zaburzenia był krótkotrwały rozbłysk na powierzchni Słońca połączony z niewielkim wyrzutem zjonizowanych cząstek z korony słonecznej (NOAA).

W pięciostopniowej skali klasyfikacji burz magnetycznych (od G1 do G5), zgodnie ze skalą przyjętą przez amerykańską, rządową agencję **NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION**, anomalie pola magnetycznego zarejestrowane w grudniu br. na stacji geodynamicznej PSG w Hołowni tylko raz na krótko osiągnęły najniższy poziom burzowy tj. G1, co – z wyjątkiem listopada br. – w miesiącach wcześniejszych zdarzało się wielokrotnie w skali każdego miesiąca.

Krótkookresowe, w tym dobowe zmiany pola geomagnetycznego obserwowane na powierzchni planety są zawsze wynikiem interakcji ziemskiego pola magnetycznego z polem magnetycznym generowanym przez poruszające się zjonizowane cząstki wiatru słonecznego. Wielkość wpływu wiatru słonecznego na ziemskie pole magnetyczne zależy od wielkości i polaryzacji „uwięzionego” pola magnetycznego, a tym samym od prędkości i gęstości poruszających się cząstek. Prędkość i gęstość cząstek docierających w przestrzeń okołoziemską jest zależna od aktualnego stanu aktywności słonecznej z uwzględnieniem opóźnienia wynikającego z czasu potrzebnego na dotarcie cząstek wiatru w zasięg oddziaływania pola magnetycznego Ziemi. Prędkość cząstek wiatru słonecznego zmienia się w szerokich granicach i waha się od ok. 400 km/s (brak gwałtownych zjawisk na powierzchni Słońca) do ok. 500 - 800 km/s w przypadku gwałtownych emisji cząstek towarzyszących rozbłyskom słonecznym i zjawiskom koronalnych wyrzutów masy z korony słonecznej (ang. CME). Wyrzuty strumieni plazmy z korony słonecznej są w stanie docierać w zasięg magnetosfery ziemskiej już po 15 – 18 godzinach (najszybsze, wysokoenergetyczne cząstki). Najwolniejsze, pokonują trasę Słońce-Ziemia nawet w czasie kilku dni.

Bieżący stan pozaplanetarnych czynników, które oddziałują na pole magnetyczne Ziemi, jonosferę, atmosferę, hydrosferę i jej powierzchnię wyznacza aktualny stan tzw. „pogody kosmicznej”. Badaniem 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.

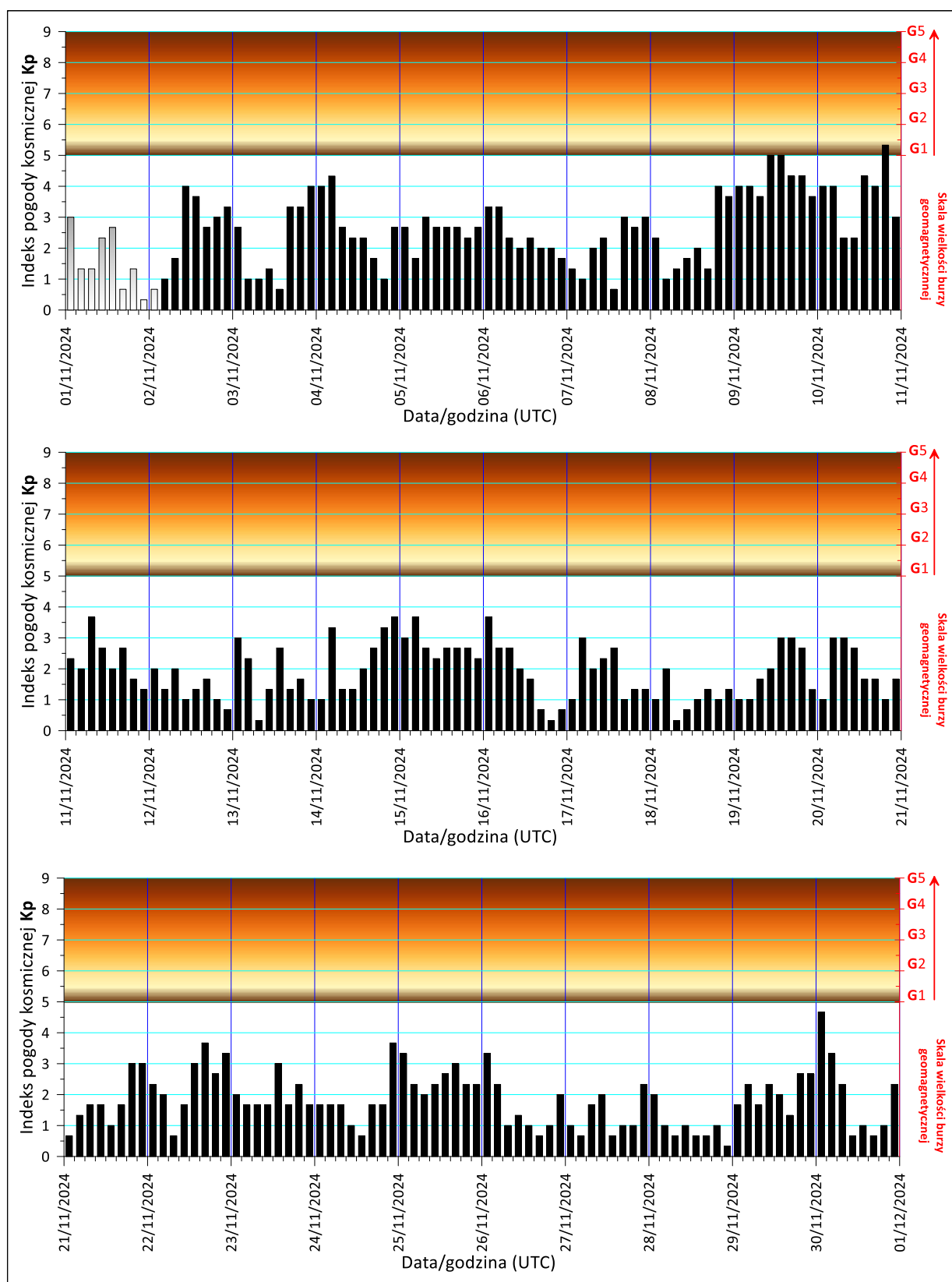
W trakcie trwania burz magnetycznych całkowity wektor indukcji ziemskiego pola magnetycznego B_T ulega nieustannym zmianom w czasie jako wypadkowa zmian jego składowych: X – składowa wschodnia, Y – północna i Z – pionowa. Zmiany obejmują również elementy pola magnetycznego H – składowa pozioma, D – deklinacja, 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” K_p , który przyjmuje wartości od 0 do 9. Indeks K_p 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 i południowej powyżej 60 równoleżnika. Indeksy K i K_p wyznaczone 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 K_p prognozowane sukcesywnie z wyprzedzeniem trzydniowym w okresie miesiąca grudnia br. Wykresy przedstawiono w formacie dekadowym tj. od 01 do 10, od 11 do 20 oraz od 21 do 31 grudnia 2024. Na wykresach zaznaczona została skala burz magnetycznych odpowiadająca indeksom K_p : G1- $5 \leq K_p < 6$, G2 – $6 \leq K_p < 7$, G3 - $7 \leq K_p < 8$, G4 – $8 \leq K_p < 8.9$, G5 – $K_p \geq 8.9$.



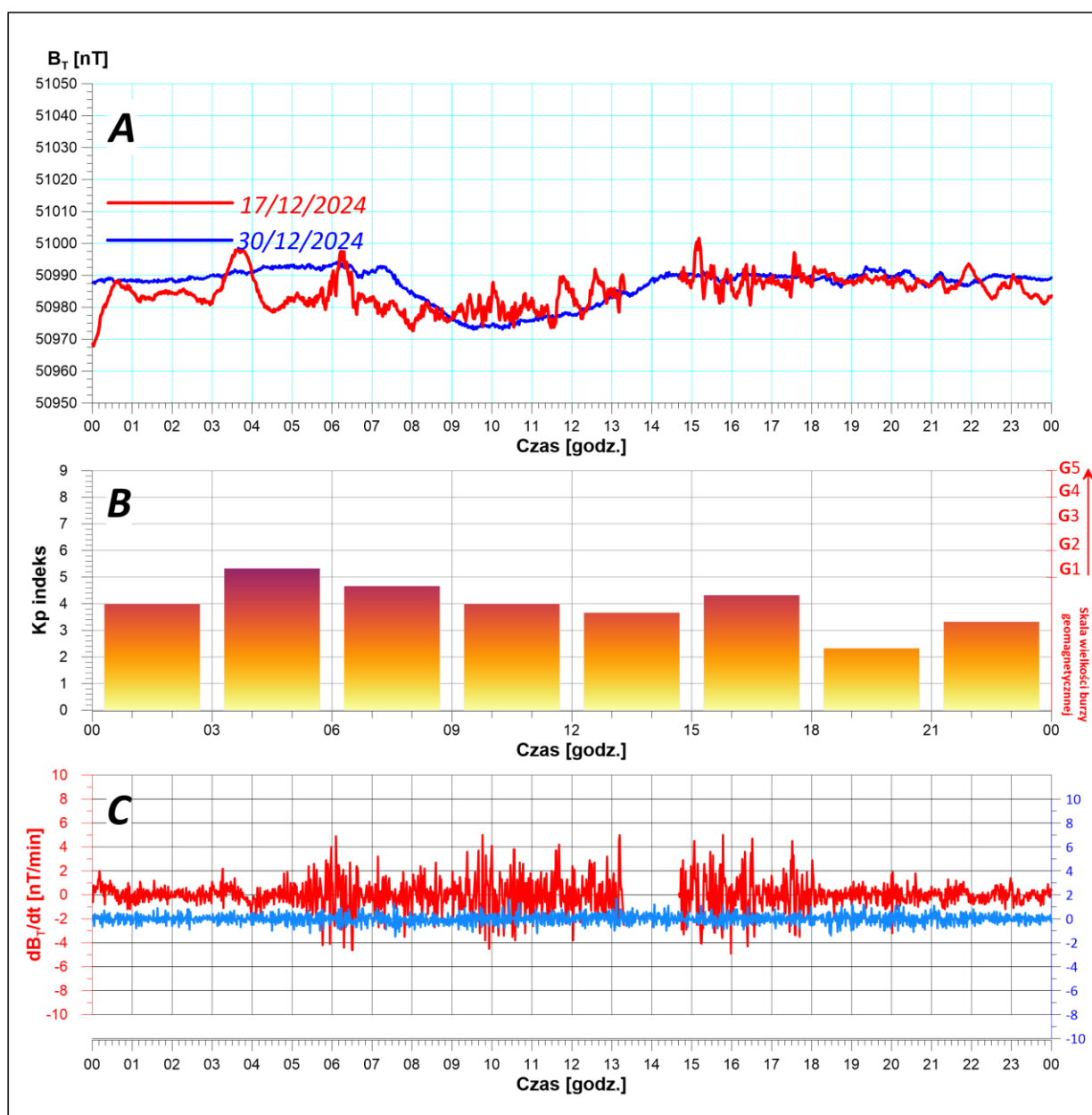
Rys. 2. Zmiany indeksu Kp „pogody kosmicznej” w miesiącu grudniu 2024 r (dane wg. NOAA).

Zmiany wielkości modułu indukcji ziemskiego w oraz wykresy dynamiki zmian pola magnetycznego zarejestrowane w dniach najsilniejszych, grudniowych zaburzeń tj. w dniach **17 i 31 grudnia** zaprezentowane zostały w oparciu o dane z monitoringu pola geomagnetycznego ze stacji geomagnetycznej w laboratorium PSG w Hołownie.

Anomalie pola geomagnetycznego z dnia 17 grudnia (UTC) br. z obserwacji pola magnetycznego w laboratorium geodynamicznym PSG w Hołownie zaprezentowano na **rys. 3**. Zaprezentowane wykresy obrazują zmiany modułu całkowitego wektora indukcji geomagnetycznej B_T , wykres słupkowy wielkości indeksu K_p w 3 godzinnych interwałach predykcji danych oraz dynamikę zmian modułu całkowitego wektora indukcji w czasie dla jednogodzinnych interwałów obserwacji pola dB_T/dt . Krzywe wykreślone kolorem czerwonym pokazują dobowe wariacje modułu indukcji ziemskiego pola magnetycznego. Kolorem niebieskim pokazano zapis z dnia **30/12/2024** r., tj. z obserwacji wykonanych w dniu, w którym stopień zmienności typowej krzywej dziennej był minimalny (wykres referencyjny - niezakłócony zapis dobowy).

Odpowiednio do wykresów zaprezentowanych na **rys. 3** na kolejnym rysunku (**rys. 4**) pokazano analogiczną prezentację zmian pola magnetycznego obserwowaną w dniu 31/12/2024 r. Również w tym przypadku za wykres referencyjny posłużyła rejestracja pola magnetycznego z dnia 30/12/2024 r.

Ogółem w listopadzie br. w laboratorium geodynamicznym w Hołownie zarejestrowane zostały dane obejmujące **744** godzin ciągłych obserwacji, tj. zarejestrowano **100%** danych z nominalnego czasu monitoringu pola geomagnetycznego, w tym **1.5 godz.** odcinek silnie zakłóconych danych.

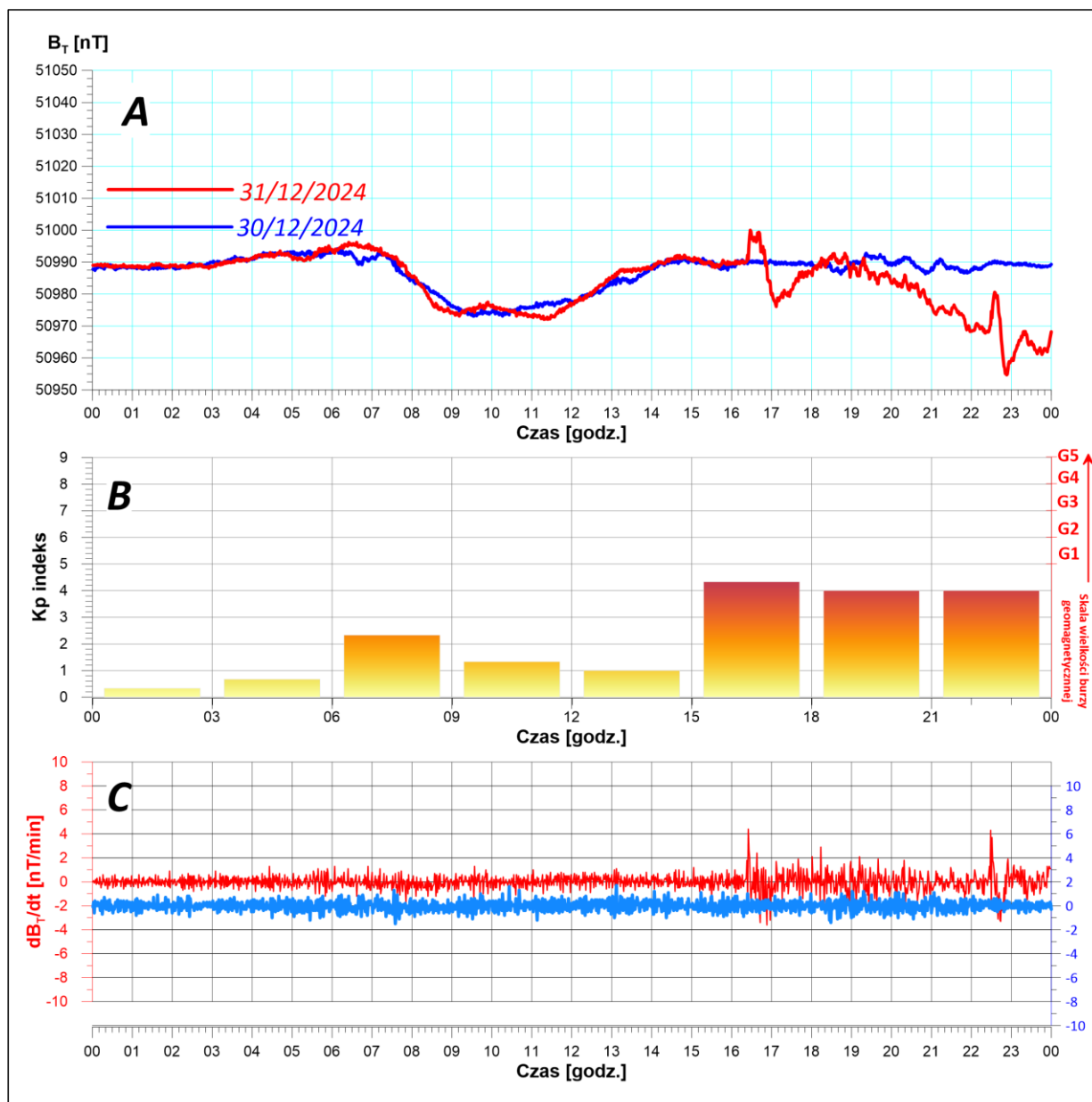


Rys. 3. Magnetogram z monitoringu modułu całkowitego wektora indukcji pola geomagnetycznego zarejestrowany w dniu 17/12/2024 r. na stacji geodynamicznej PSG zlokalizowanej w Hołownie (gm. Podedworze, pow. parczewski).

A – wykres rejestrowanych zmian modułu całkowitego wektora indukcji pola geomagnetycznego B_T .

B – dobowy wykres zmian indeksu K_p 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 dB_T/dt .



Rys. 4. Magnetogram z monitoringu modułu całkowitego wektora indukcji pola geomagnetycznego zarejestrowany w dniu 31/12/2024 r. na stacji geodynamicznej PSG zlokalizowanej w Hołownie (gm. Podedworze, pow. parczewski).

A – wykres rejestrowanych zmian modułu całkowitego wektora indukcji pola geomagnetycznego B_T .

B – dobowy wykres zmian indeksu K_p 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 dB_T/dt .

W dniu 15 października 2024 r. na wspólnej konferencji prasowej przedstawicieli Amerykańskiej Agencji Kosmicznej – NASA oraz Amerykańskiego Urzędu ds. Atmosfery i Oceanów – NOAA ogłoszono, że Słońce aktualnie znajduje się w szczycie swojego 25., jedenastoletniego cyklu aktywności słonecznej (<https://www.youtube.com/live/DT0FG7CS1Tg%C2%A0>). Z tego względu w nadchodzącym roku 2025 i 2026 spodziewać się można zwiększenia częstości występowania krótkookresowych, nieregularnych zmian pola magnetycznego wywołanych wpływem Słońca na pole magnetyczne Ziemi. W latach bezpośrednio poprzedzających maksimum aktywności słonecznej obserwuje się również narastanie, a po osiągnięciu szczytu spadek częstości zaburzeń pola geomagnetycznego spowodowanych wiatrem słonecznym oraz zwiększoną częstością występowania innych zjawisk mających swoje źródła w przypowierzchniowych warstwach atmosfery słonecznej. Prawdopodobieństwo występowania częstych i silnych zakłóceń na tle normalnych zmian dobowych będzie jeszcze znaczne.