



**MONITORING GEODYNAMICZNY POLSKI
PAŃSTWOWEJ SŁUŻBY GEOLOGICZNEJ**

**PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY**

**Raport nr 09/2024
z dnia 10/10/2024 r.
z wyników monitoringu pola geomagnetycznego zarejestrowanych
we wrześniu 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 we wrześniu 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 10/10/2024 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 Hołowni (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 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 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 i w Hołowni, 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 wrześniu 2024.

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

Na **załączniku 1** zaprezentowane zostały wykresy zmian dobowych modułu indukcji pola geomagnetycznego zarejestrowane w Hołownie (**zał. 1**) we wrześniu 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 obejmują komplet danych zarejestrowanych od dnia 01/09 do 30/09/br.

W trakcie rutynowych obserwacji pola geomagnetycznego w okresie miesiąca września na stacji geodynamicznej w Hołownie kilkakrotnie rejestrowane były częste, w tym silne zaburzenia naturalnego pola magnetycznego. 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 G1 do G3.

Niewielkie zaburzenia zarejestrowane zostały w dniach 01, 04, 11, 14, 15, 16, 19, 20, 23 i 29 września (zaburzenia zatokowe w klasie G1). Silne i bardzo silne w dniach 12, 13, 17 i 25 dnia miesiąca. Najsilniejsze, wrześniowe zjawiska burzy magnetycznej zarejestrowane zostały w dniach 12 i 17 września. W klasyfikacji NOAA osiągnęły poziom G3 wielkością zbliżając się do poziomu G4. W dniach tych amplituda zmiany modułu całkowitego wektora pola geomagnetycznego obserwowana na stacji magnetycznej w Hołownie osiągnęła i przekroczyła wartość 100 nT (rys. 3 i rys. 4), tj. ok. 2 krotnie przekroczyła maksymalne amplitudy obserwowane w przypadku normalnych, niezakłóconych zmian dobowych.

Wszystkie obserwowane we wrześniu zjawiska burz magnetycznych inicjowane były rozbłyskami słonecznymi, którym towarzyszyły koronalne wyrzuty zjonizowanych gazów z korony słonecznej w przestrzeń kosmiczną (CME – ang. Coronal Mass Ejections). W przypadku burz zatokowych, widocznych na magnetogramach w postaci krótkotrwałych (do ok. 1-2 godzin) odchyłeń od normalnego trendu krzywej dobowej, aż do wielogodzinnych, zmiennych i silnych emisji plazmy słonecznej w przypadku burz obserwowanych na przestrzeni kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu godzin.

Wyrzuty strumieni plazmy z korony słonecznej są w stanie docierać w zasięg magnetosfery ziemskiej już po 15 – 18 godzinach (najszybsze, wysokoenergetyczne cząstki). Najwolniejsze, pokonując trasę Słońce-Ziemia nawet w czasie kilku dni.

Wynik porównania sierpniowych obserwacji stanu pola magnetycznego Ziemi do zmienności tego pola obserwowanego w miesiącach poprzedzających (styczeń – sierpień br.) jednoznacznie wskazuje, że po chwilowym spadku w lipcu br. częstość rejestrowanych w sierpniu i wrześniu anomalnych zjawisk

w magnetosferze ziemskiej ponownie wzrosła. Jak było do przewidzenia lipcowe uspokojenie ziemskiego pola magnetycznego okazało się być przejściowe.

Burze magnetyczne zarejestrowane w sierpniu, a następnie we wrześniu br. nie były 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). Choć maksymalne amplitudy zjawisk sierpniowych i wrześniowych nie były tak duże, jak zjawisk obserwowanych w maju, to – mimo wszystko – podobnie jak burze majowe - obejmowały znaczny obszar Ziemi, obejmując zasięgiem oddziaływania także średnie szerokości geograficzne wraz z towarzyszącym zjawiskiem zórz polarnych (w przypadku Polski uwaga ta odnosi się do zjawisk sierpniowych).

Zjawisko pojawienia się burz magnetycznych jest ściśle związane z aktywnością słoneczną. Przyczyną burz są między 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 przeciwej. Zmienność czynników zewnętrznych oddziałujących z polem magnetycznym Ziemi jest przyczyną zmian tego pola przenoszących się drogą indukcji na jej powierzchnię.

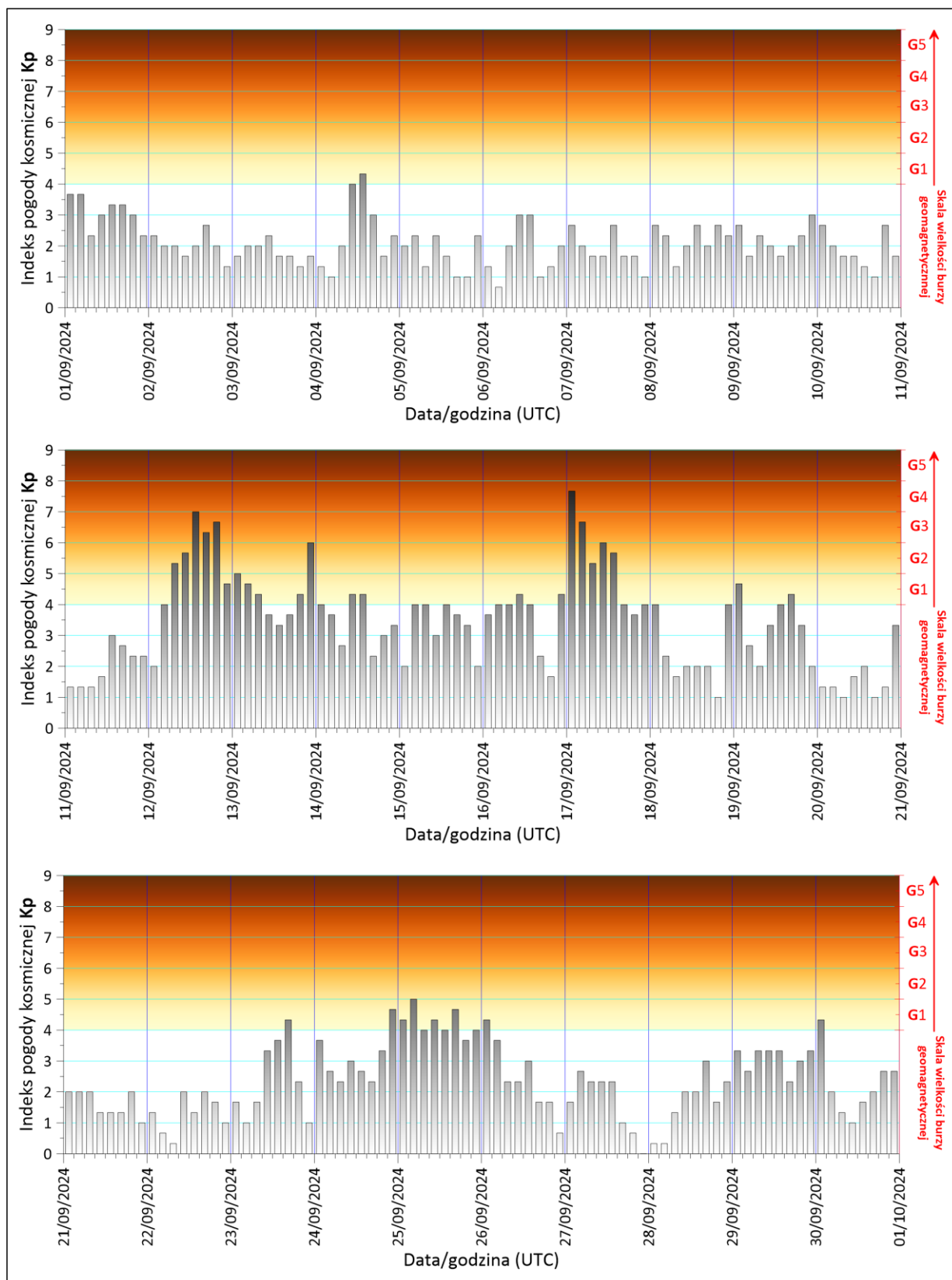
Bieżący stan pozaplanetarnych czynników, które oddziałują na pole magnetyczne Ziemi, jonosferę, atmosferę, hydrosferę i jej powierzchnię wyznacza aktualny stan tzw. „pogody kosmicznej”. Badaniami tych czynników i ich wpływem na życie na Ziemi zajmują się wyspecjalizowane ośrodki naukowe, instytucje i 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 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 sukcesywnie z wyprzedzeniem trzydniowym w okresie miesiąca września br. Wykresy przedstawiono w formacie dekadowym tj. od 01 do 10.09, 11-21.09 oraz od 21 do 31.09.2024. 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 – $8 \leq Kp \leq 9$.



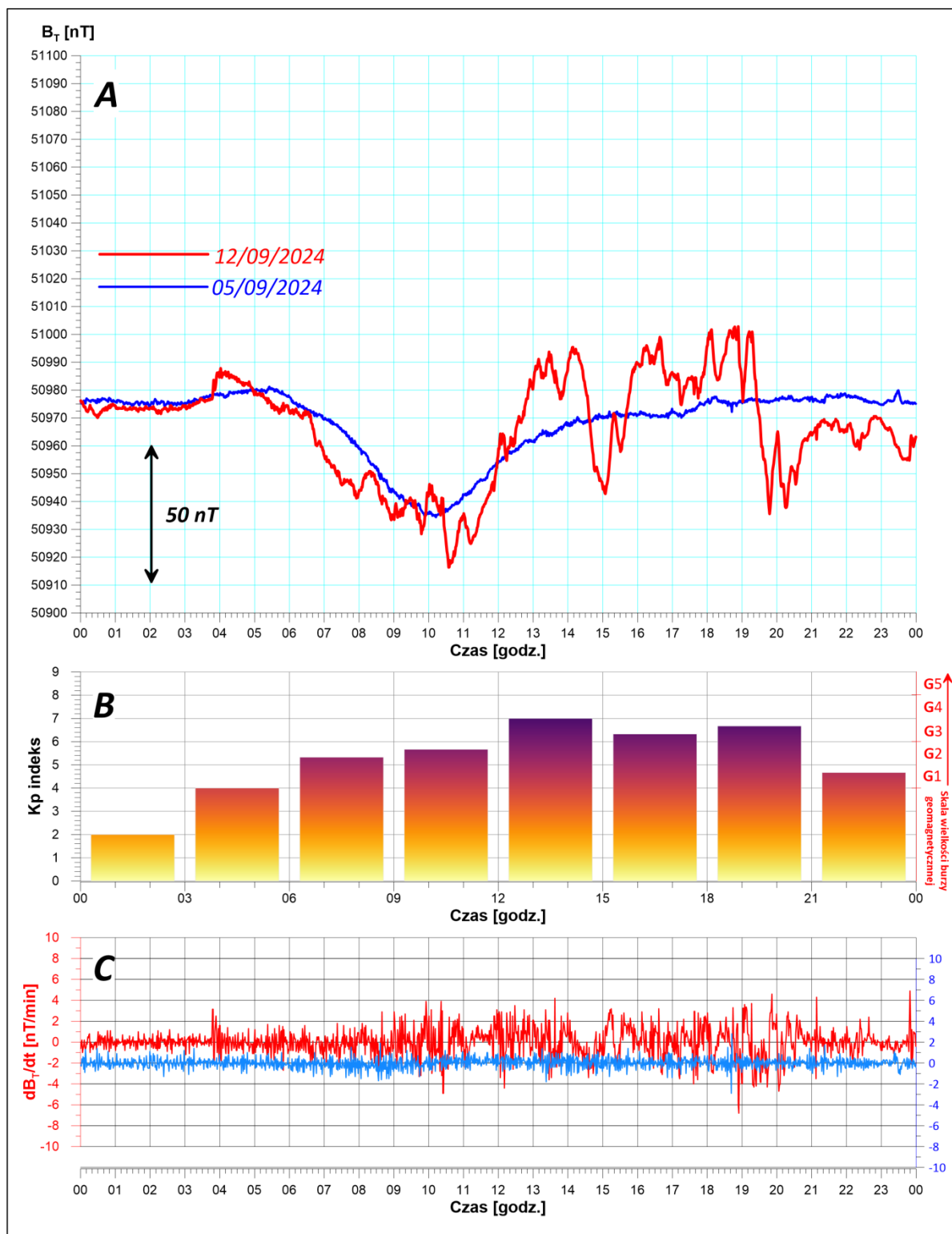
Rys. 2. Zmiany indeksu Kp „pogody kosmicznej” w miesiącu wrześniu 2024 r (dane wg. NOAA).

Zmiany wielkości modułu indukcji ziemskiego w oraz wykresy dynamiki zmian pola magnetycznego zarejestrowane w dniach najsilniejszych, wrześniowych zaburzeń tj. w dniach **12 i 17 września** zaprezentowane zostały w oparciu o dane z monitoringu pola geomagnetycznego ze stacji geomagnetycznej w laboratorium PSG w Hołowni.

Anomalie pola geomagnetycznego z dnia 12 września (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 jednodominutowych interwałów obserwacji pola dB_T/dt . Krzywe wykreślone kolorem czerwonym pokazują dobowe wariacje modułu indukcji ziemskiego pola magnetycznego. Kolorem niebieskim pokazano zapis z dnia 05/09/2024 r., tj. z obserwacji wykonanych we wrześniu br., tj. 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 burzy magnetycznej obserwowanej w dniu 17/09/2024 r.

Ogółem we wrześniu br. w laboratorium geodynamicznym w Hołownie zarejestrowane zostały dane obejmujące 720 godzin ciągłych obserwacji, tj. zarejestrowano 100% danych z nominalnego czasu monitoringu pola geomagnetycznego.

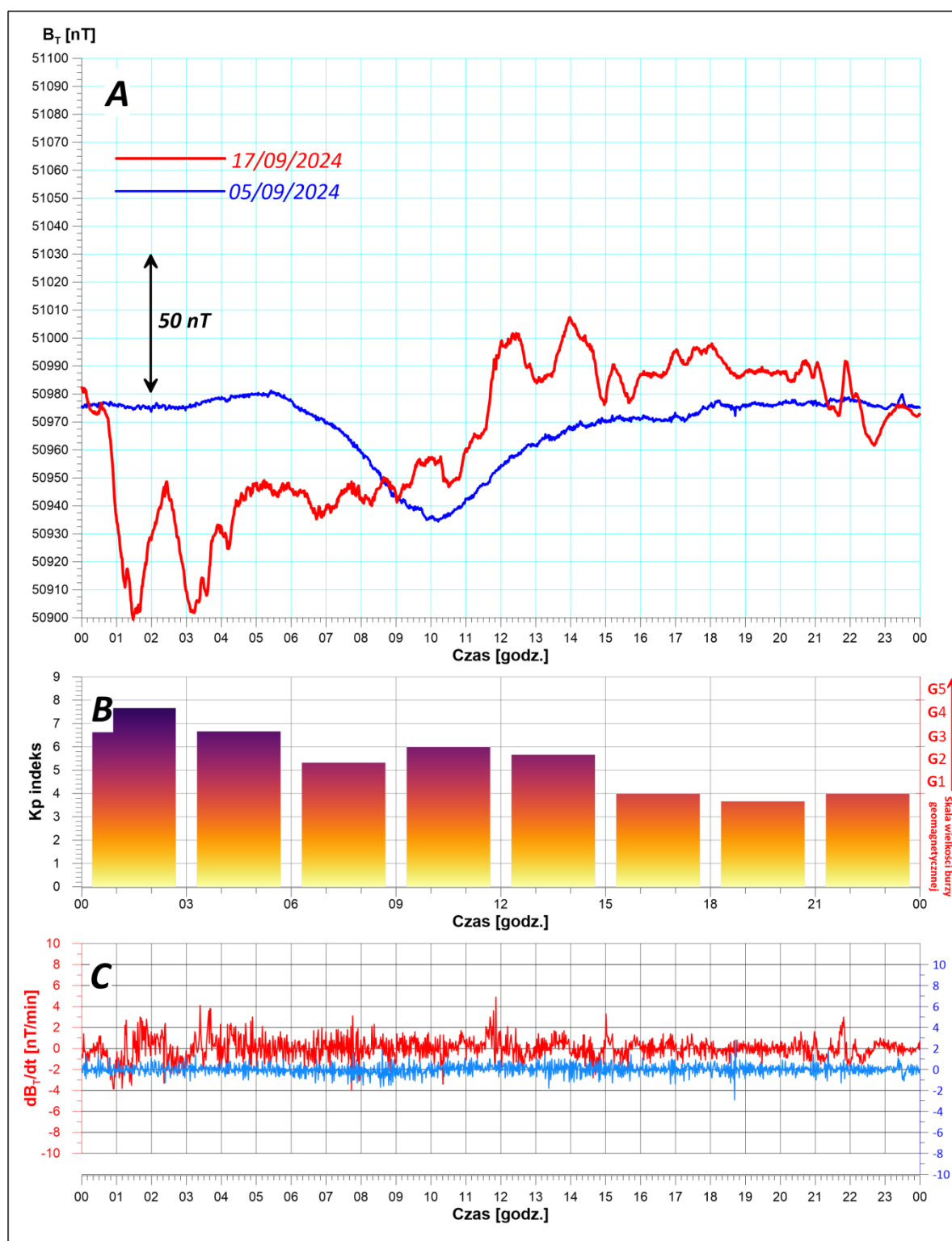


Rys. 3. Magnetogram z monitoringu modułu całkowitego wektora indukcji pola geomagnetycznego zarejestrowany w dniu 12/09/2024 r. na stacji geodynamicznej PSG zlokalizowanej w Hołownie (gm. Podedworze, pow. parczewski).

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 17/09/2024 r. na stacji geodynamicznej PSG zlokalizowanej w Hołownie (gm. Podedwórze, 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 najbliższym czasie oraz nadchodzącym roku 2025 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 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.