



**MONITORING GEODYNAMICZNY POLSKI
PAŃSTWOWEJ SŁUŻBY GEOLOGICZNEJ**

**PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY**

**Raport nr 04/2024
z dnia 15/05/2024 r.
z wyników monitoringu pola geomagnetycznego zarejestrowanych
w kwietniu 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 laboratoriach geodynamicznych PSG w Dziwiu i w Hołownie.

Załącznik nr 1 – Zestawienie dobowych magnetogramów zarejestrowanych w kwietniu 2024 na stanowisku monitoringu magnetycznego w Dziwiu.

Załącznik nr 2 - Zestawienie dobowych magnetogramów zarejestrowanych w kwietniu 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 15/05/2024 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 **HOŁO**) 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.

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 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 strumienia 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 laboratoriach geodynamicznych PSG w Dziwiu i w Hołownie w miesiącu marcu 2024.

Na załącznikach 1 i 2 zaprezentowane zostały wykresy zmian dobowych modułu indukcji pola geomagnetycznego zarejestrowane na stacji w Dziwiu (zał. 1) i w Hołownie (zał. 2) w marcu 2024 r.

W miesiącu kwietniu br. dobowe wariacje indukcji pola geomagnetycznego dają się najlepiej scharakteryzować w oparciu o rejestracje pola magnetycznego obserwowane przede wszystkim na stacji w Hołownie. Magnetogramy zarejestrowane w laboratorium w Dziwiu były fragmentarycznie silnie zakłócone. Niekiedy stopień zakłóceń był na tyle wysoki, że całkowicie uniemożliwiał skuteczną filtrację pomierzonych danych i nie pozwalał na uzyskiwanie i ciągły odczyt wiarygodnych wartości pomiarów pola geomagnetycznego.

W trakcie większości dni miesiąca kwietnia obserwowane, dobowe zmiany indukcji pola geomagnetycznego były zmianami typowymi, słabo zmiennymi z wyraźnie zarysowanym, niewielkim minimum wartości całkowitego modułu indukcji magnetycznej w przedziale czasu przypadającym na godziny południowe.

W kwietniu pięciokrotnie zarejestrowane zostały silne zmiany indukcji pola geomagnetycznego będące odzwierciedleniem małej i średniej wielkości burz magnetycznych, które miały miejsce w magnetosferze ziemskiej. W dniu 16 kwietnia – obserwowana była burza klasy G1, zaś w dniu 19/04/2023 r. – burza klasy G2 (klasyfikacja burz magnetycznych od G1 do G5 zgodnie ze skalą przyjętą przez amerykańską, rządową agencję NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION). Kolejne słabsze zaburzenia pola wywołane impulsami krótkotrwałych, koronalnych wyrzutów masy z powierzchni Słońca (ang. CME – Coronal Mass Ejection) zarejestrowane zostały w dniach 21, 26 i 30 kwietnia.

Nieduże, naturalne zaburzenia typowego obrazu zarejestrowanych magnetogramów obserwować można było także w dniach 04, 07, 09, 27, 29 kwietnia. Zaburzenia mają postać pojedynczych, niewielkich amplitudowo zatok w normalnym przebiegu zmian indukcji pola geomagnetycznego. Jest to typowy obraz pojedynczych zaburzeń w magnetosferze ziemskiej, jakie mają miejsce w efekcie słabych, krótkotrwałych rozbłysków słonecznych.

Zjawisko pojawienia się burz magnetycznych jest ściśle związane z aktywnością słoneczną. Przyczyną burz są między innymi zaburzenia strumienia zjonizowanych cząstek 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 oddziałujących z polem magnetycznym Ziemi jest przyczyną zmian tego pola przenoszących się drogą indukcji na jej powierzchnię.

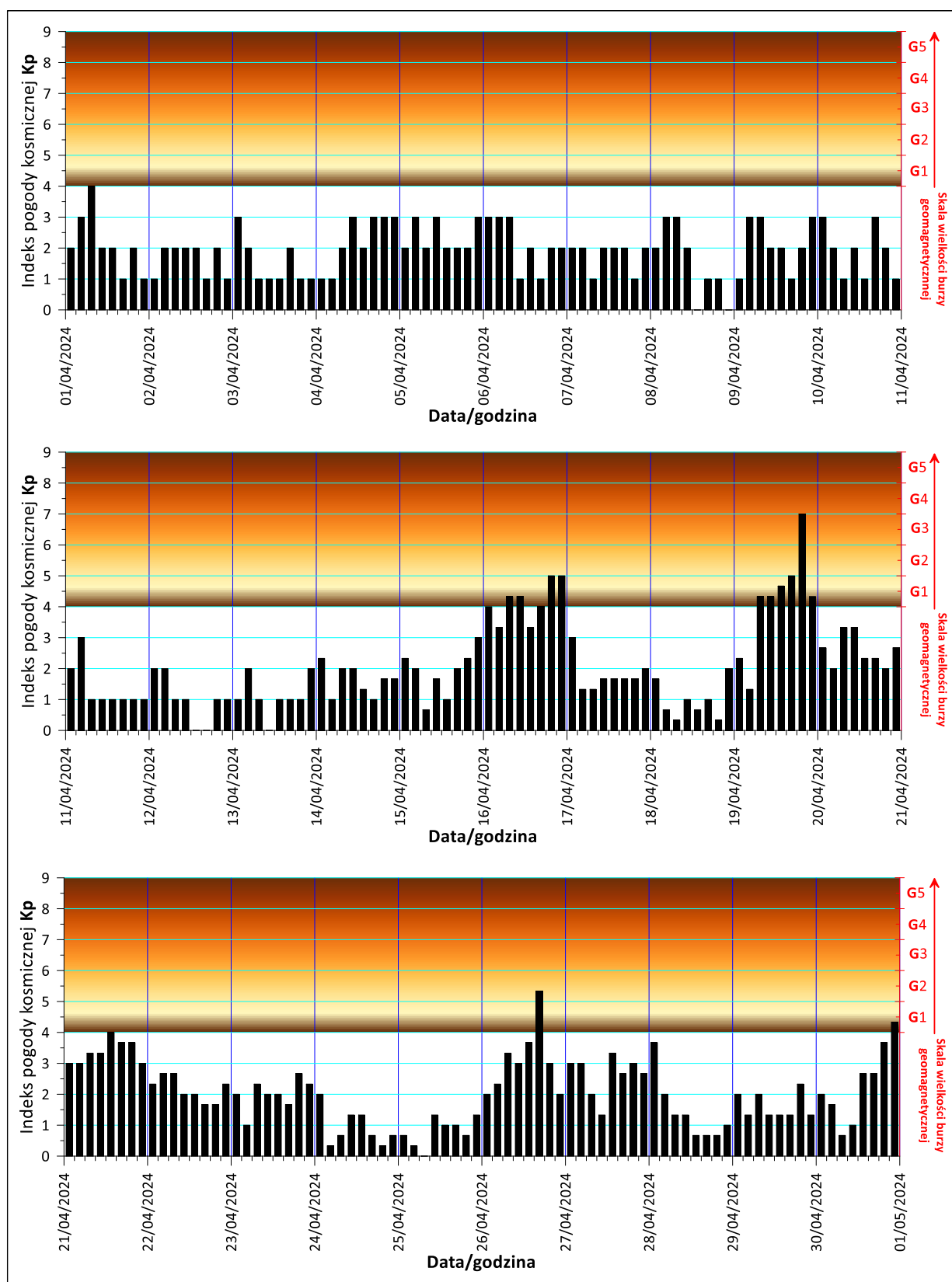
Bieżący stan pozaplanetarnych czynników, które oddziałują na pole magnetyczne Ziemi, jonosferę, atmosferę, hydrosferę i jej powierzchnię wyznacza aktualny stan tzw. „pogody kosmicznej”. Badaniami tych czynników i ich wpływem na życie na Ziemi zajmują się wyspecjalizowane ośrodki naukowe, instytucje i 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 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 satelitarne.

Na **rys. 2** przedstawiono wykresy zmienności indeksu Kp prognozowane z wyprzedzeniem trzydniowym w okresie miesiąca kwietnia br. Wykresy przedstawiono w formacie dekadowym tj. od 01 do 10.04, 11-20.04 oraz od 21 do 30.04.2024. 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 kwietniu 2024 r (dane wg. NOAA & GFZ – Potsdam).

Zmiany wielkości modułu indukcji ziemskiego w oraz wykresy dynamiki zmian pola magnetycznego zarejestrowane w dniach najsilniejszych, marcowych zaburzeń tj. w dniach **16 i 19 kwietnia** zaprezentowane zostały w oparciu o dane z monitoringu pola geomagnetycznego ze stacji geomagnetycznych w laboratoriach PSG w Hołowni oraz w Dziwiu.

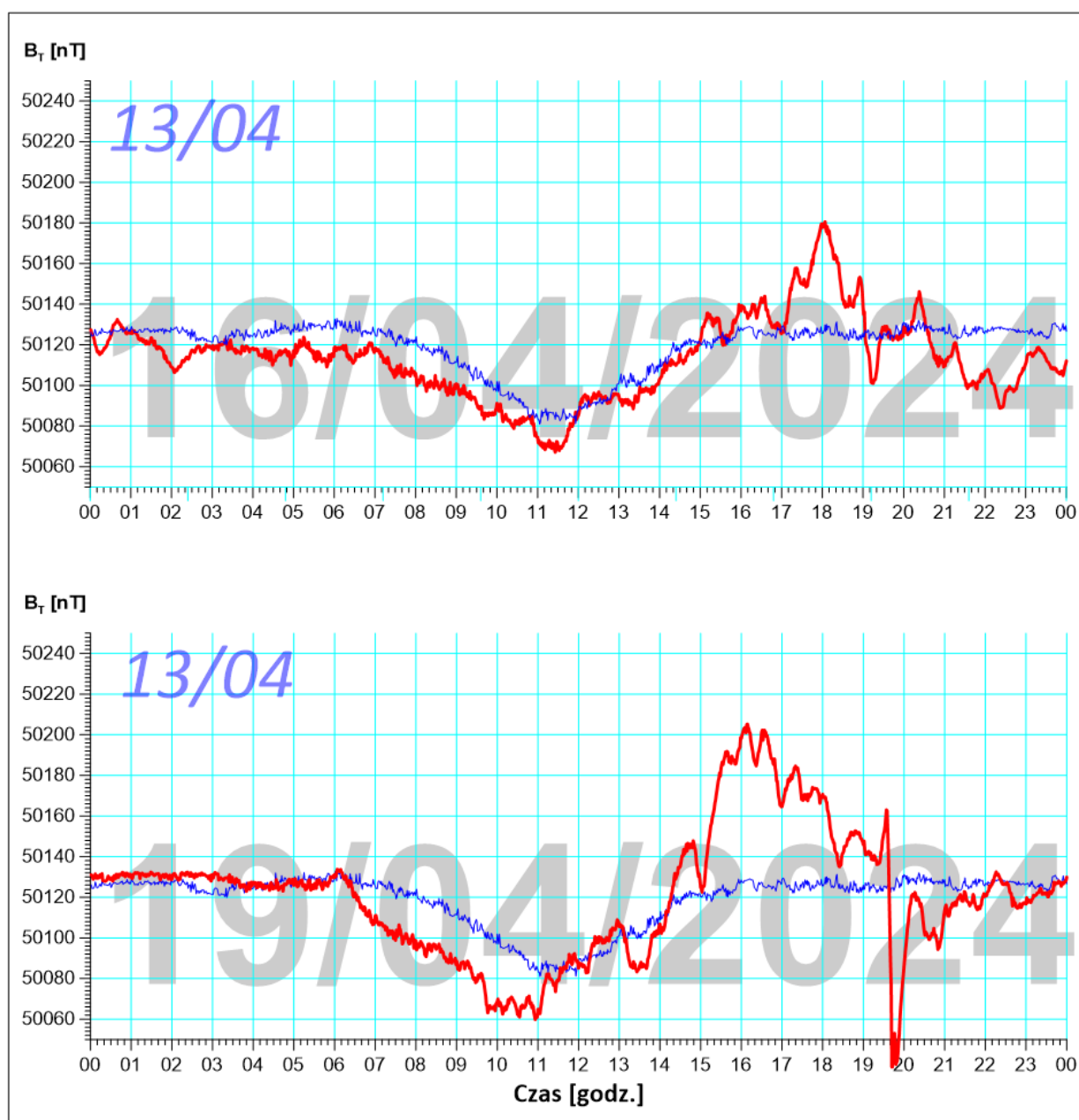
Anomalie pola geomagnetycznego br. z monitoringu geomagnetycznego w laboratorium geodynamicznym PSG w Dziwiu zaprezentowano na rysunku **rys. 3**. Odpowiadające im rejestracje wykonane na stacji w Hołownie na **rys. 5**. Zaprezentowane wykresy obrazują zmiany pola magnetycznego zarejestrowane w dniach 16 i 19 kwietnia br. (UTC). Krzywe wykreślone kolorem czerwonym pokazują dobowe wariacje modułu indukcji ziemskiego pola magnetycznego zarejestrowane w poszczególnych dobach obserwacji. Kolorem niebieskim pokazano zapis z dnia **13/04/2024** r., tj. z dnia w którym stopień zmienności typowej krzywej dziennej był minimalny (wykres referencyjny, niezakłócony).

Odpowiednio do wykresów dobowych zmian całkowitego modułu indukcji pola geomagnetycznego (B_T) na **rys. 4** oraz **rys. 6** zaprezentowano wykresy prędkości zmian tego modułu dla jednodominutowych interwałów obserwacji dB_T/dt , obserwowane w tych samych, dobowych odcinkach obserwacji (kolor czerwony) wraz z krzywą referencyjną dB_T/dt z dnia 13 kwietnia, w którym zmienność pola magnetycznego była minimalna (kolor niebieski).

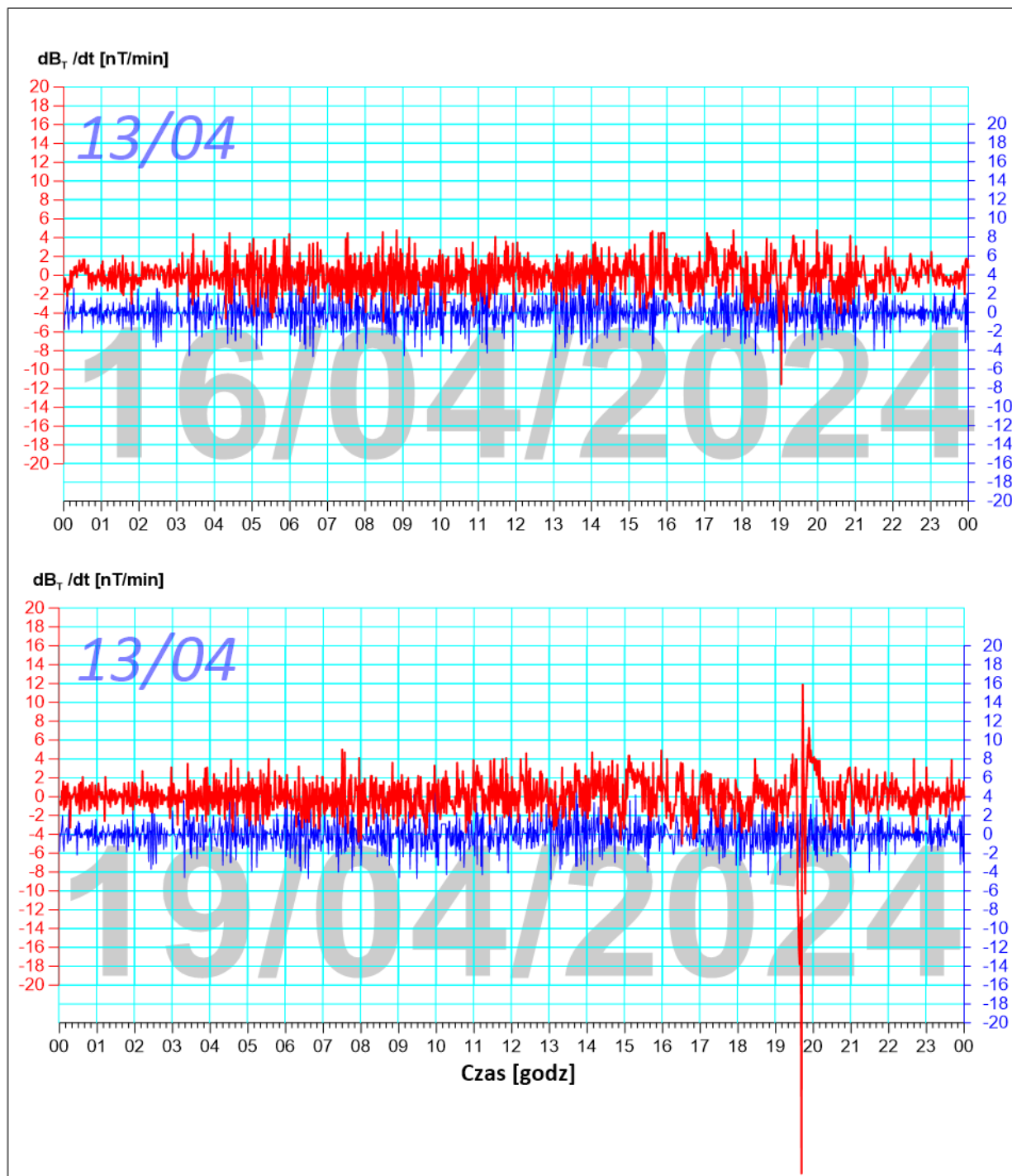
W kwietniu br. na stacji monitoringu geodynamicznego PSG w Dziwiu, w zapisie zmian wartości całkowitego modułu indukcji geomagnetycznej wielokrotnie rejestrowano zakłócenia sygnału pomiarowego. Kilkakrotnie w trakcie miesiąca zakłócenia były na tyle silne, że całkowicie uniemożliwiły proces filtracji i odtworzenie prawidłowego sygnału.

W monitoringu pola geomagnetycznego na stacji Hołowno w marcu nie rejestrowano znaczących zakłóceń w rejestracji danych magnetycznych. Nie udało się jednak utrzymać miesięcznej ciągłości zapisu zmian indukcji pola geomagnetycznego. W okresie od 1 kwietnia dwukrotnie utracone zostały dane z monitoringu na łącznym odcinku 7.5 godz. oraz jedna, dwugodzinna przerwa techniczna związana z koniecznością wykonania prac serwisowych w układzie pomiarów magnetycznych, powiązanych ze szkoleniem operatorskim personelu.

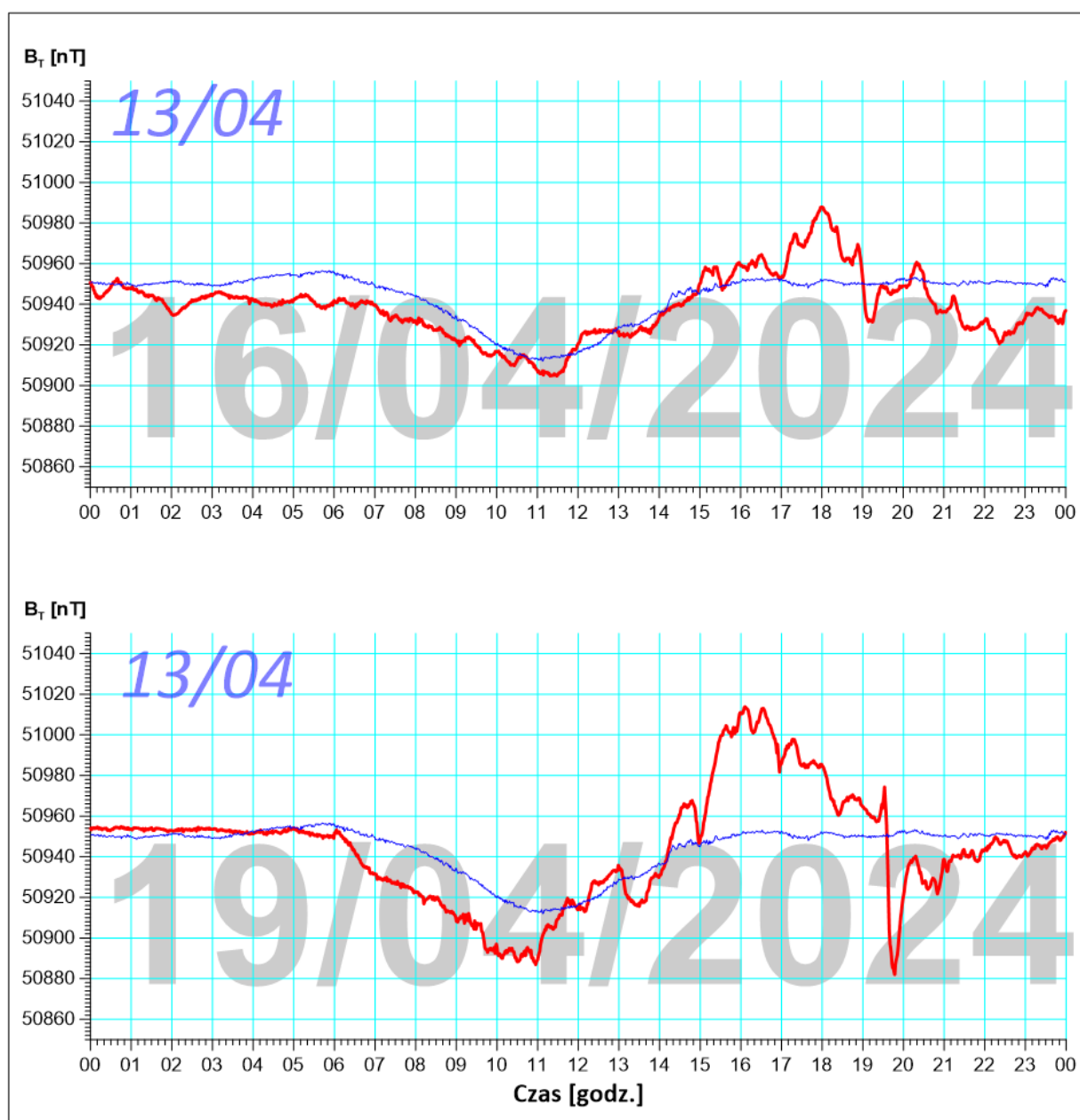
Ogółem w kwietniu br. w laboratorium geodynamicznym w Hołownie utracone zostały dane z łącznej ilości 9.5 godz. obserwacji, tj. 1.32% danych magnetycznych przy nominalnym czasie 720 godz. dobowego monitoringu od 01/04 – 30/04/2024 r. Na stacji w Dziwiu ze względu na zakłócenia od dnia 01/04/ do 30/04/2024, utracone zostały dane na łącznym odcinku 38 godzin. tj. 5.28% z nominalnego czasu monitoringu.



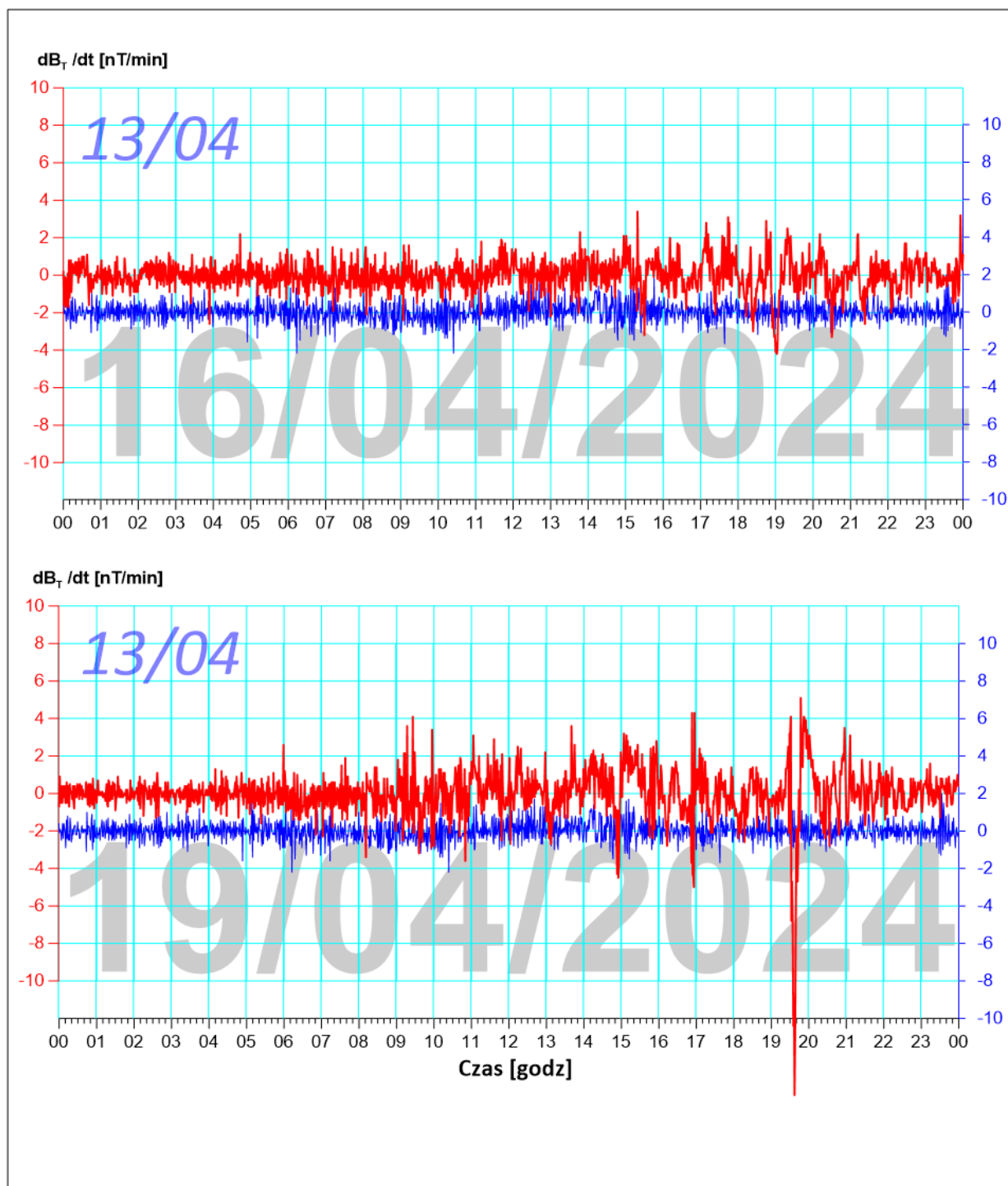
Rys. 3. Wykresy dobowe zmian modułu całkowitego wektora pola geomagnetycznego w dniu 16/04/2024 oraz 19/04/2024 (UTC) zarejestrowane na stacji monitoringu geodynamicznego PSG w Dziwiu, gm. Przedecz, pow. kolski. Kolorem niebieskim wykreślono zmiany dobowe indukcji pola magnetycznego zarejestrowane w dniu 13/04/2024 (najniższy poziom zakłóceń nieperiodycznych zarejestrowanych w czasie jednej doby w kwietniu br. – „dobowa krzywa referencyjna”).



Rys. 4. Wykresy dobowe tempa zmian modułu indukcji całkowitego wektora pola geomagnetycznego dB_T/dt w dniu 16/04/2024 oraz 19/04/2024 r. (UTC) zaobserwowane na stacji monitoringu geodynamicznego PSG w Dziwiu, gm. Przedecz, pow. kolski. Kolorem niebieskim wykreślono dobowy przebieg tempa zmian indukcji pola magnetycznego zarejestrowane w dniu 13/04/2024 (najniższy poziom zakłóceń nieperiodycznych zarejestrowanych w czasie jednej doby w kwietniu br. – „dobowa krzywa referencyjna”).



Rys. 5. Wykresy dobowe zmian modułu całkowitego wektora pola geomagnetycznego w dniach 16/04; 19/04/2024 (UTC) zarejestrowane na stacji monitoringu geodynamicznego PSG w Hołownie, gm. Podedwórze, pow. parczewski. Kolorem niebieskim wykreślono zmiany dobowe indukcji pola magnetycznego zarejestrowane w dniu 13/04/2024 (najniższy poziom zakłóceń nieperiodycznych zarejestrowanych dobowo w kwietniu br. – „dobowa krzywa referencyjna”).



Rys. 6. Wykresy dobowe tempa zmian modułu całkowitego wektora pola geomagnetycznego dB_T/dt w dniach 16/04; 19/04/2024 r. (UTC) zaobserwowane na stacji monitoringu geodynamicznego PSG w Hołownie, gm. Podedwórze, pow. parczewski. Kolorem niebieskim wykreślono dobowy przebieg tempa zmian indukcji pola magnetycznego zarejestrowane w dniu 13/04/2024 (najniższy poziom zakłóceń nieperiodycznych zarejestrowanych dobowo w kwietniu br. – „dobowa krzywa referencyjna”).

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 następnie spadek częstości zaburzeń pola geomagnetycznego spowodowanych wiatrem słonecznym oraz zwiększoną częstością występowania innych zjawisk mających swoje źródła w przypowierzchniowych warstwach atmosfery słonecznej.