

Analiza pola magnetycznego krakowskich Błoni

Adam Wątroba, Jan Malczewski

Fizyka Techniczna, 5 semestr, 2021/2022

Abstrakt

Celem poniższego raportu jest prezentacja metod i wyników pomiaru pola magnetycznego na Błoniach przy użyciu smartphone'ów wyposażonych w magnetometrię, akcelerometrię oraz moduły GPS. Wyniki te zostaną użyte do oceny historycznego biegu rzeki Rudawy.

Wstęp

Ziemskie pole magnetyczne nie jest idealnym, stałym dipolem - zmienia się zarówno w czasie, jak i w zależności od miejsca pomiarów. Czynniki kontrybuującymi do zmian są głównie ruchy magmy w płaszczu ziemskim, aczkolwiek występują również bardziej lokalne czynniki, jak np. złoża minerałów o własnościach magnetycznych, bądź te związane z działalnością ludzką i szeroko pojętą infrastrukturą. Przy pomiarach w małych skalach czasowych (rzędu tygodni-/miesięcy) zmiany czasowe pola magnetycznego można zaniedbać, a w przypadku pomiarów na stosunkowo małych powierzchniach możemy również założyć że nieduże obszarowo (w stosunku do powierzchni mierzonej) bądź nagłe zmiany pochodzą tylko i wyłącznie od źródeł lokalnych - ww. różnic w minerałach bądź infrastruktury. Owe zmiany pozwalają nam przewidywać niektóre rzeczy - na przykład że w danym miejscu istniało kiedyś koryto rzeczne.

Metodologia

Punkty pomiarowe zostały wyznaczone na siatce o odległości 20 m między oczkami - wielkość ta została dobrana arbitralnie, korzystając z wczesnych pomiarów dokładności uzyskiwania pozycji na Błoniach. Pozycja telefonu była wyznaczana z dokładnością do około 5 m z pewnością 68% (tzn. szansa na to że pokazywana pozycja oraz pozycja faktyczna są w odległości mniejszej niż zakładana niepewność wynosi 68%).

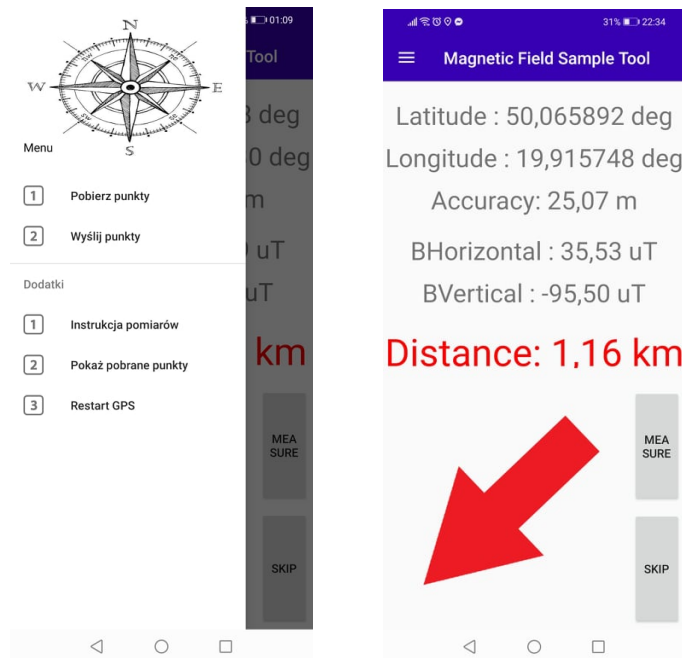
Punktów pomiarowych jest 1168. Oczywiście, przy możliwościach telefonów, dokładne trafienie w dany punkt jest niemożliwe, więc wyznaczone pozycje pełniły funkcje orientacyjne - rzeczywistych pomiarów dokonywano w pobliżu tych punktów, zapisując ich faktyczną pozycję oraz promień niepewności.



Rysunek 1: Rozmieszczenie punktów wyznaczonych do pomiaru na terenie Krakowskich Błoni.

Aplikacja

Ilość punktów oraz wielkości samych Błoni wymusiły wielokrotne pomiary dokonywane przez nasz zespół. Opracowana została aplikacja służąca do pomiarów punktów oraz nawigacji po terenie. Za jej pomocą osoba mierząca jest w stanie pobrać oraz wyświetlić punkty, i co najważniejsze, zdecydować czy konkretny punkt ma zostać zmierzony, czy też nie spełnia warunków pomiarowych. Zdarzało się czasem, że osoba mierząca nie miała możliwości dostania się do niektórych miejsc - dlatego została uwzględniona możliwość pominięcia punktu mierzonego.



Rysunek 2: Zrzuty ekranu z działającej aplikacji służącej do pomiarów pola magnetycznego.

Baza danych

Jako, że do pomiarów użyto różnych telefonów, należało znaleźć sposób na synchronizację zmierzonych danych. Do tego celu użyto serwera MySQL, który operował z serwerów naszej uczelni. Każdemu pomiarowi towarzyszyło nadpisanie dwunastu miejsc w wierszu tabeli:

- id - numer porządkowy punktu
- user - login użytkownika
- status - stan punktu, niezmierny [0], zmierzony [-1], lub odrzucony [1]
- time - czas pomiaru
- latitude - szerokość geograficzna wyznaczonego punktu
- longitude - długość geograficzna wyznaczonego punktu
- user latitude - szerokość geograficzna zmierzonego punktu
- user longitude - długość geograficzna zmierzonego punktu
- vertical - wartość pionowej składowej pola magnetycznego B
- horizontal - wartość poziomej składowej pola magnetycznego B
- std vertical - odchylenie standardowe zmiennej vertical
- std horizontal - odchylenie standardowe zmiennej horizontal
- accuracy - dokładność pomiaru położenia

Pomiary

Warto zauważyć, że punkty zostały zmierzone o różnych godzinach oraz za pomocą różnego sprzętu. W dalszej części dokumentu wskażemy brak znaczącej rozbieżności z tego wynikających. Niektóre punkty nie zostały zmierzone pomimo położenia w miejscu stosunkowo łatwo dostępnym. Wynika to z błędów technicznych i niestety, problem ten został zauważony już w trakcie analizy danych.



Rysunek 3: Rozmieszczenie punktów wyznaczonych do pomiaru (szarych) oraz już zmierzonych (czerwone) na terenie Krakowskich Błoni.

Metoda pomiaru

Ze względu na specyfikę pomiarów pola magnetycznego telefonem (czujnik uruchamia funkcję mierzącą tylko gdy zarejestruje zmianę pola, zatem pomiary są nieregularne) potrzeba było opracować wzór który by to uwzględnił.

Pomiar polega na uruchomieniu czujnika przez 1s z częstotliwością 1kHz (w przypadku gdy wynik pomiaru jest taki sam jak poprzedni, funkcja spisująca pomiary nie jest uruchamiana, stąd 1kHz przez 1s niekoniecznie da nam 1000 wyników). Za każdym razem jest rejestrowany czas pomiaru oraz wartości składowej pionowej i poziomej pola magnetycznego. Po wykonaniu 1000 pomiarów lub osiągnięcia czasu pomiaru (1s) wyniki są podstawiane do poniższych wzorów, gdzie:

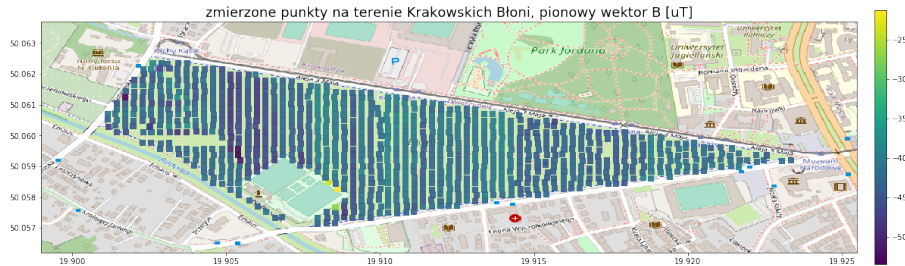
- t_k to czas k-tego pomiaru (pierwszy pomiar ma czas 0)
- B_k to wartość pola w danym momencie (składowej poziomej bądź pionowej, te wzory są używane do obu składowych)
- n to liczba pomiarów dla danego punktu

$$\mu = \frac{\sum_1^{n-1} \frac{(B_{k+1} + B_k)}{2} (t_{k+1} - t_k)}{t_n - t_1} \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^{n-1} \left(\frac{(B_{k+1} + B_k)}{2} - \mu \right)^2 (t_{k+1} - t_k)}{t_n - t_1}} \quad (2)$$

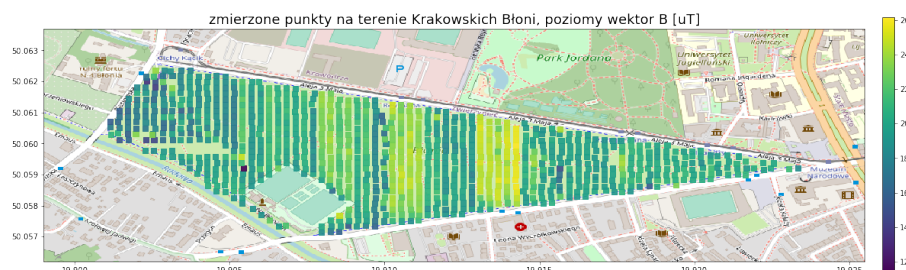
Analiza danych

Osoby wykonywujące pomiary poruszały się po linii południków. Stąd wyraźne rozróżnienie pomiędzy wartościami punktów leżących na tym samym równoleżniku. Częściowo można za to winą również obarczyć autokalibrację telefonów (która pozwoliła nam też pominąć części obliczeń związanej z uwzględnianiem wpływu pola pochodzącego od telefonu (np. z magnesu z głośnika).



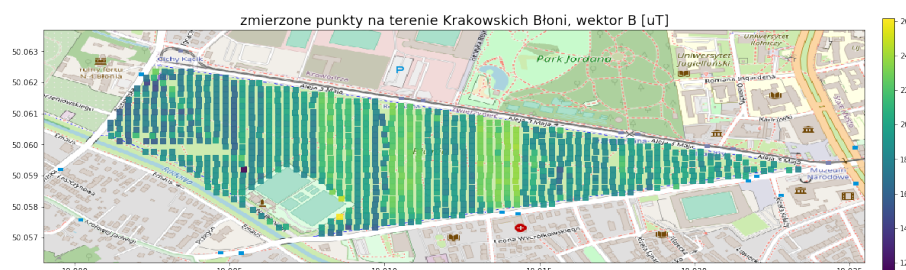
Rysunek 4: Wartości pionowej składowej wektora pola magnetycznego B narzucone na mapę według "user latitude" i "user longitude".

Rozróżnienie to uwidacznia się jeszcze bardziej przy poziomej składowej pola magnetycznego B.



Rysunek 5: Wartości poziomej składowej wektora pola magnetycznego B narzucone na mapę według "user latitude" i "user longitude".

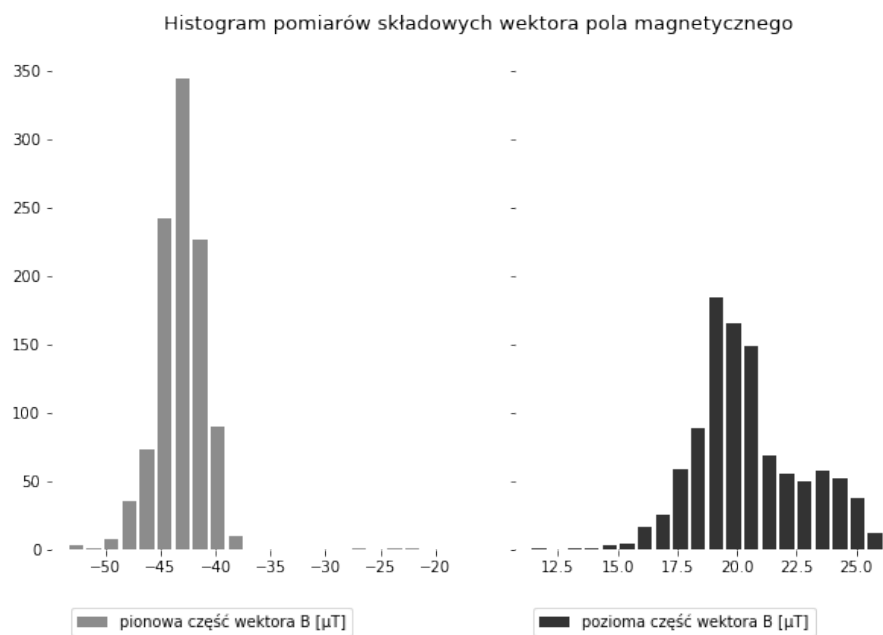
Po dodaniu wektorów składowych pionowych i poziomych otrzymujemy pełen rozkład wartości wektora B w μT .



Rysunek 6: Wartości wektora pola magnetycznego B narzucone na mapę według "user latitude" i "user longitude".

Aby zbadać poprawność pomiaru przygotowane zostały histogramy kolejno poziomej i pionowej składowej wektora B. Zastosowano po 20 przedziałów w każdym przypadku. Możemy obserwować mniejsze wahania wartości pionowej składowej wektora B. Pojedyncze punkty zanotowane po prawej stronie histogramu pionowej części wektora B w dalszej części sprawozdania zostały odrzucone jako błąd grubo. Zmierzone zostały w pobliżu metalowego ogrodzenia i prawdopodobnie stąd wynika stosunkowo duża rozbieżność wartości.

Jak widać na rysunkach 4, 5 i 6 kolejne serie pomiarów wykazywały się dużą różnicą wartości wektora B, w szczególności pozioma składowa wektora B zancząco się wyróżniała. Gwałtowne skoki najprawdopodobniej spowodowane są zmianą kalibracji danego urządzenia. To wyjaśnia dlaczego charakter rozkładu wartości nie zmienia się jeżeli weźmiemy pod uwagę przesunięcie wartości o odpowiednią stałą wartość. Doskonale widać to na rysunku 8. Pomiary zostały wykonane dwoma telefonami w różnych odstępach czasu.



Rysunek 7: Histogram pionowej i poziomej składowej wektora pola magnetycznego B.

Urządzenie 1

- zmierzone punkty: 307
- średnia pozioma wartość wektora B: 19.84
- średnia pionowa wartość wektora B: -43.27

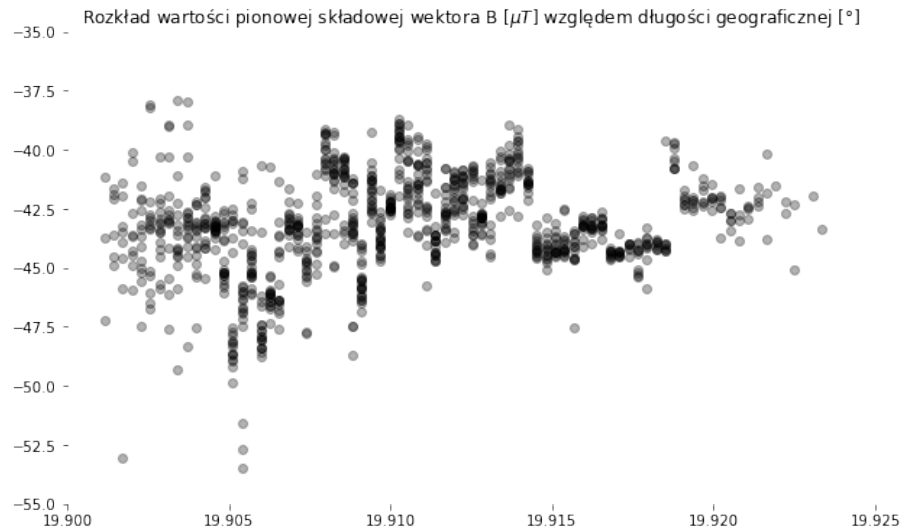
Urządzenie 2

- zmierzone punkty: 731
- średnia pozioma wartość wektora B: 20.68
- średnia pionowa wartość wektora B: -43.04

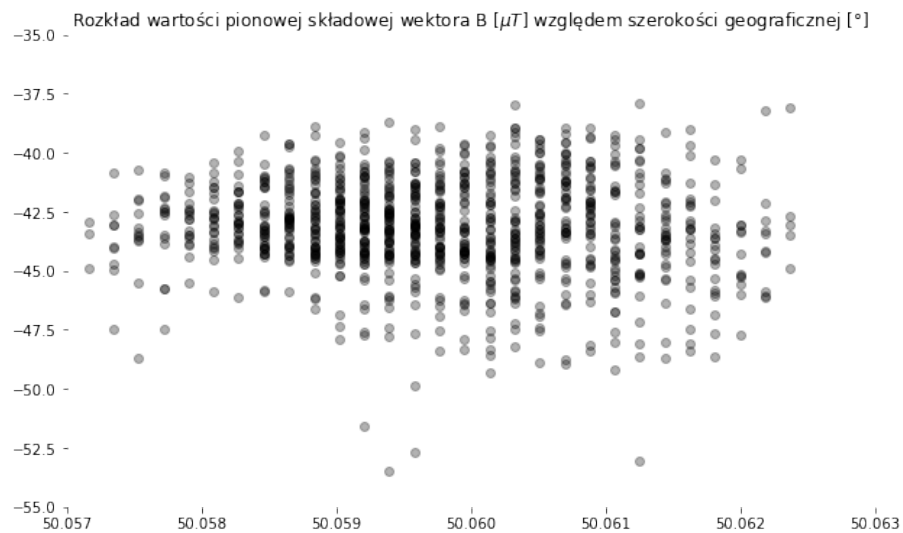
Możemy zauważyć, że chociaż występują rozbieżności w wynikach obu urządzeń, nie są one wystarczające aby uznać jedno z urządzeń za niepewne źródło danych.

Zależności

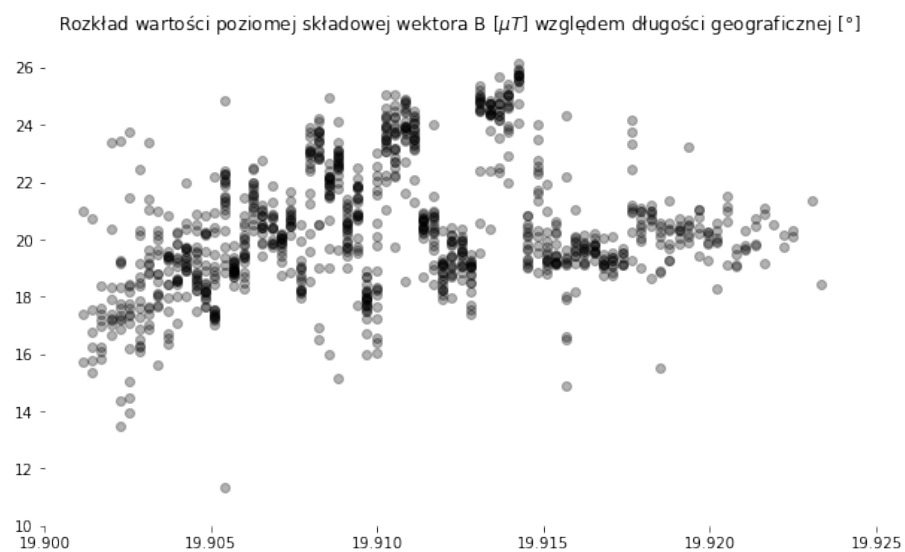
Poniżej zamieszczono serię grafik mających na celu nakreślenia rozkładu wartości wektora B od położenia i czasu pomiaru.



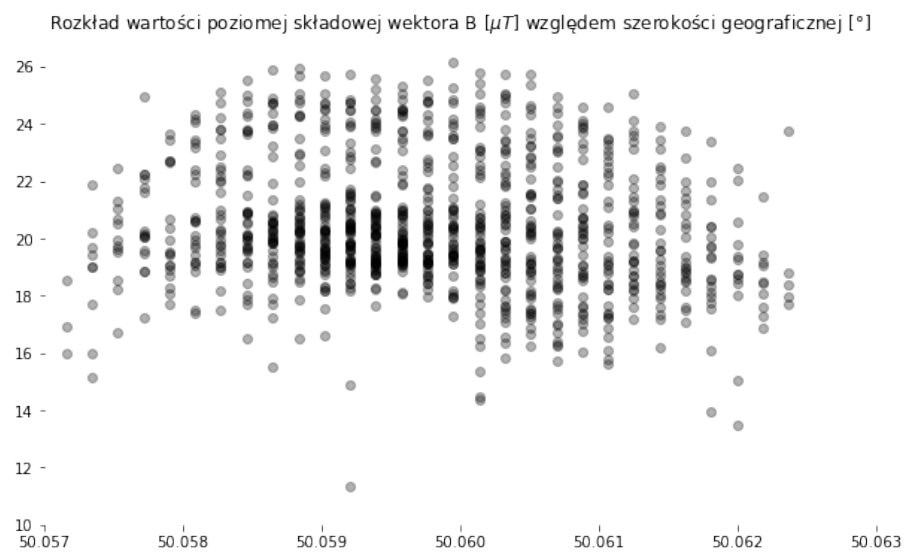
Rysunek 8: Wykres pokazujący zależność pionowej składowej wektora pola magnetycznego B względem długości geograficznej.



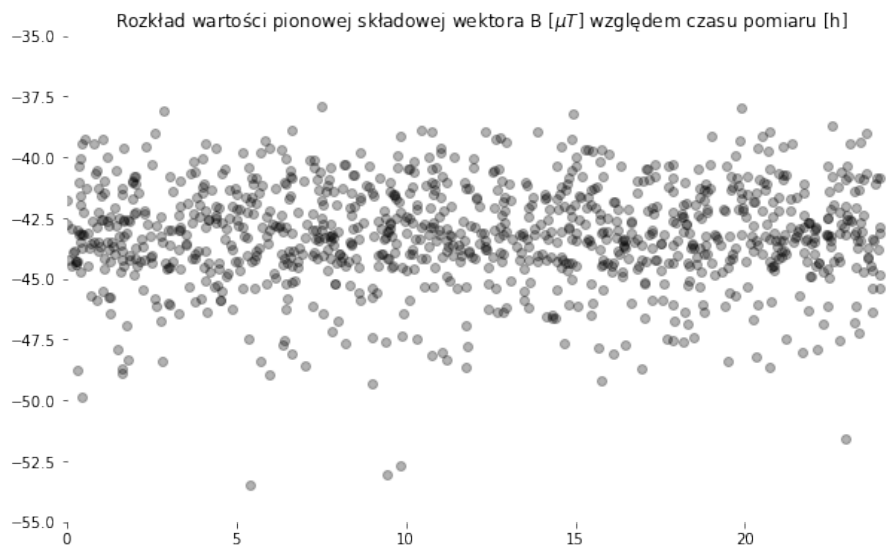
Rysunek 9: Wykres pokazujący zależność pionowej składowej wektora pola magnetycznego B względem szerokości geograficznej.



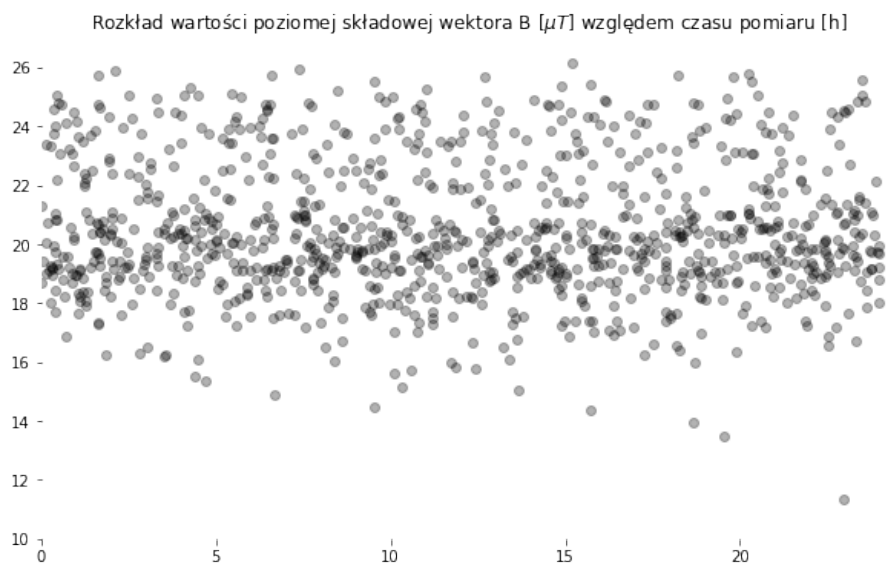
Rysunek 10: Wykres pokazujący zależność poziomej składowej wektora pola magnetycznego B względem długości geograficznej.



Rysunek 11: Wykres pokazujący zależność poziomej składowej wektora pola magnetycznego B względem szerokości geograficznej.



Rysunek 12: Wykres pokazujący zależność pionowej składowej wektora pola magnetycznego B względem godziny pomiaru. Pomiar odbywał się podczas kilku dni.



Rysunek 13: Wykres pokazujący zależność poziomej składowej wektora pola magnetycznego B względem godziny pomiaru. Pomiar odbywał się podczas kilku dni.

Podsumowanie

Z powyższych wykresów możemy wyciągnąć kilka wniosków:

- Godzina pomiaru pola magnetycznego nie ma większego znaczenia
- Ze względu na szum oraz losowe wartości kalibracji nie jesteśmy w stanie zmierzyć delikatnych zmian pola magnetycznego
- Metoda ta charakteryzuje się jednak potencjałem w przypadku potrzeby małodokładnego sprawdzania dużych przestrzeni

Zatem, pomimo nie osiągnięcia założonego celu, opracowaliśmy i przetestowaliśmy potencjalnie nową metodę zbierania danych.

Bibliografia

Cały kod użyty do analizy danych został umieszczony na profil github:
https://github.com/JTMalczewski/Magnetic_Data

witryny internetowe dla dnia [19.02.2022]