

ELŻBIETA WELKER

Instytut Geodezji i Kartografii

**ZMIANA POLA MAGNETYCZNEGO ZIEMI
W LATACH 1980–2005 NA PRZYKŁADZIE
DYNAMICZNYCH MODELI ZMIAN
JEGO DWÓCH WYBRANYCH ELEMENTÓW**

ZARYS TREŚCI: Na przykładzie dwóch wybranych elementów pola magnetycznego Ziemi – deklinacji D oraz wektora natężenia całkowitego F – pokazano zmianę pola magnetycznego w ostatnim ćwierćwieczu (lata 1980–2005) na terenie Europy Środkowej. Przebieg zmian pola, przedstawionych w postaci przestrzennych modeli, został potwierdzony wykresami rozkładu deklinacji i wartości wektora F w wybranych obserwatoriach. W celu określenia wartości błędu, jakiego można się spodziewać przy ekstrapolacji wartości elementów pola geomagnetycznego na okres 8 lat, porównano wartości pomierzone w epoce 2000.5 z wartościami ekstrapolacji wielomianowej i liniowej, wyliczonymi na tę epokę przy wykorzystaniu danych z lat 1980–1992. Trudny do przewidzenia moment załamania się kierunku zmian elementów pola lub zmian ich modułu, co miało miejsce w 2000 r., potwierdza konieczność ciągłego badania zmian wiekowych pola magnetycznego Ziemi, czyli konieczność stałych, systematycznych pomiarów na punktach powtarzalnych (wiekowych).

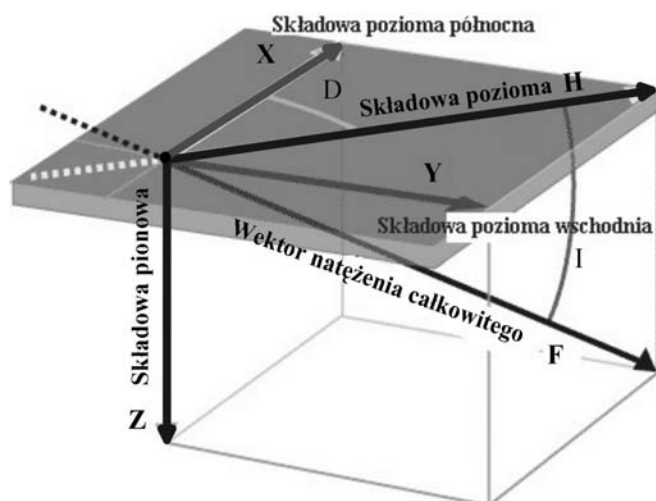
Słowa kluczowe: pole magnetyczne Ziemi, zmiany wiekowe pola magnetycznego Ziemi, deklinacja magnetyczna, wektor natężenia całkowitego pola geomagnetycznego, pomiary magnetyczne, punkty wiekowe, model pola magnetycznego

1. WPROWADZENIE

Pole magnetyczne obserwowane na powierzchni Ziemi jest sumą pól o źródłach wewnętrznych zlokalizowanych w jądrze i skorupie oraz zewnętrznych zlokalizowanych w jonosferze i magnetosferze. Pole to podlega ciągłym zmianom. Częstotliwość tych zmian ma bardzo szeroki zakres – od ułamków sekund do setek lat. Zmiany krótkookresowe, o cyklu poniżej roku, spowodowane są czynnikami zewnętrznymi głównie, aktywnością Słońca. Zmiany o okresach dłuższych, zwane zmianami wiekowymi, spowodowane są przemieszczaniem się głównych dipoli wokół jądra naszego globu (Janowski, 1958; Teisseyre, 1983). Zmiany wiekowe powodują dezaktualizację map ele-

mentów pola geomagnetycznego oraz dezaktualizację wszystkich innych danych dotyczących tego pola. Znajomość tych zmian jest więc bardzo istotna dla specjalistów zajmujących się aktualizowaniem danych magnetycznych lub prognozowaniem wartości elementów pola geomagnetycznego. W badaniach pola geomagnetycznego wykorzystuje się znajomość modeli tego pola (zwanego polem normalnym), które zmieniają się w czasie i w przestrzeni. Modele te opracowuje się na podstawie zgromadzonych, światowych obserwacji elementów pola magnetycznego Ziemi. Najpopularniejszym takim modelem, wykorzystywanym do opracowań danych magnetycznych jest IGRF (International Geomagnetic Reference Field) (Langel, 1992). Jest on opracowywany w NASA co 5 lat na podstawie wartości elementów pola magnetycznego Ziemi uzyskanych z pomiarów naziemnych, morskich, lotniczych i satelitarnych, z możliwością ekstrapolacji do 5 lat. Wartości elementów pola IGRF przyjmuje się jako wartości elementów pola normalnego i wykorzystuje do opracowywania anomalii elementów pola geomagnetycznego. Jak wykazują dotychczasowe badania zmiany pola magnetycznego Ziemi nie są systematyczne i regularne, zarówno jeśli chodzi o ich wartość, jak i kierunek (Welker, 1993).

Pole magnetyczne Ziemi w dowolnym punkcie można opisać przez elementy wektorowe – wektor natężenia całkowitego \mathbf{F} , jego składowe pionową \mathbf{Z} i poziomą \mathbf{H} , którą można rozłożyć na składową północną \mathbf{X} i wschodnią \mathbf{Y} , oraz przez dwa elementy kątowe – deklinację D i inklinację I (rys. 1).



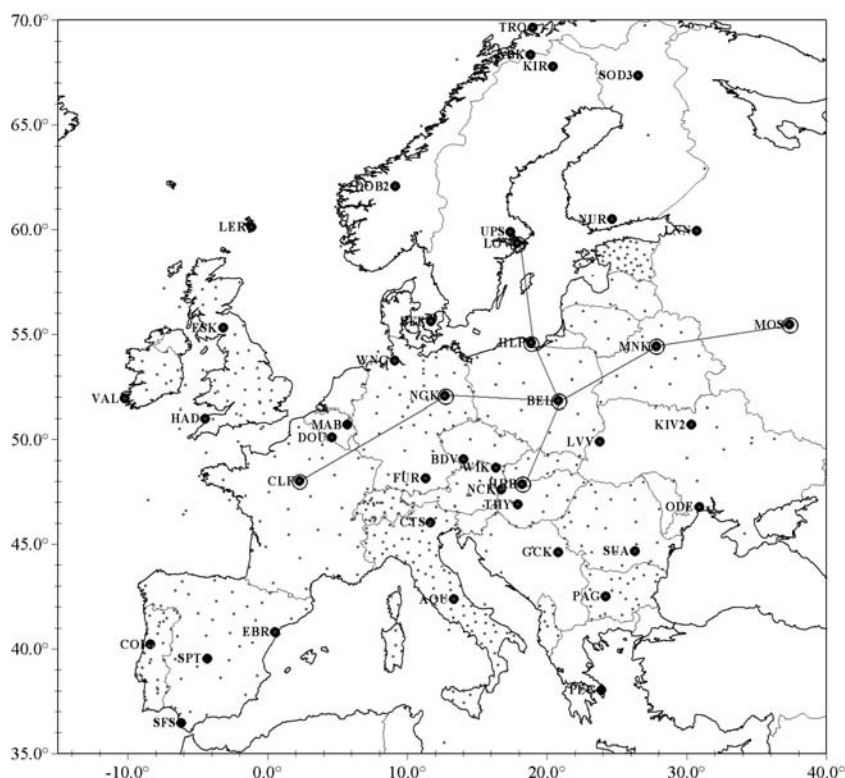
Rys. 1. Rozkład pola magnetycznego na elementy kątowe (D , I) i wektorowe (\mathbf{F} , \mathbf{Z} , \mathbf{H} , \mathbf{X} , \mathbf{Y})

Do różnych opracowań magnetycznych, takich jak mapy deklinacji magnetycznej na dowolną epokę, mapy anomalii elementów pola geomagnetycznego (mapy przedstawiające różnice między wartością elementu pola normalnego

IGRF a wartością rzeczywistą – pomierzoną), mapy izopor (mapy zmian rocznych elementów pola geomagnetycznego) itp., wymagana jest znajomość wartości elementów pola geomagnetycznego. Dane te uzyskuje się z:

- pomiarów na punktach tzw. **magnetycznej sieci podstawowej**. W Polsce składa się ona z około 3500 punktów na których pomierzono deklinację w latach 1955–1960; w latach 2002–2004 powtórzono pomiary na 300 wybranych i odtworzonych punktach;
- pomiarów na **punktach wiekowych** zastabilizowanych w rejonach małych lokalnych gradientów pola geomagnetycznego, na których powtarzane są systematycznie co 2–3 lata pomiary elementów tego pola; wyniki tych pomiarów służą do badań nad zmianami wiekowymi pola geomagnetycznego (Welker, 1993; Mroczek, 1996);
- pomiarów w **obserwatoriach** geofizycznych, w których prowadzony jest ciągły zapis zmian elementów pola magnetycznego Ziemi (Results of geomagnetics observations; Worldwide Observatory Annual Means).

Do opracowania danych magnetycznych wykorzystuje się także wartości elementów pola obliczane na podstawie współczynników światowego modelu geomagnetycznego, np. IGRF (Langel, 1992).



Rys. 2. Rozkład punktów wiekowych (małe punkty) i obserwatoriów na terenie Europy

Ze względu na duże koszty związane z założeniem sieci punktów wiekowych i wykonywaniem na nich systematycznych pomiarów nie wszystkie kraje decydują się na taką inwestycję. Od połowy lat 50. ubiegłego wieku Polska jako jedyny kraj europejski posiada sieć punktów wiekowych z pełnymi seriami obserwacji. W innych krajach europejskich badania rzeczywistych zmian wiekowych pola geomagnetycznego były prowadzone niesystematycznie lub sporadycznie. Niektóre kraje nie miały w ogóle sieci punktów wiekowych. Dużą nadzieję wiąże się z projektem *MagNetE* „Magnetic Network in Europe”, który od 2003 r. zobowiązuje kraje europejskie do założenia lub odnowienia sieci punktów wiekowych i wykonywania na nich systematycznych pomiarów elementów pola geomagnetycznego. Wyniki tych pomiarów mają być przesyłane bezpośrednio do Światowego Centrum Danych (World Data Centre WDC) w Edynburgu i będą dostępne w internecie. Będzie więc można dysponować dużo bogatszym materiałem do dalszych analiz zmian pola geomagnetycznego na terenie Europy. Jest to w pewnym sensie inicjatywa unikalna, bowiem duże kraje, takie jak Stany Zjednoczone, Kanada oraz kraje Ameryki Południowej i Afryki, wykorzystują do opracowań magnetycznych globalne modele takie jak np. IGRF lub dane satelitarne.

Wzrost zainteresowania zmianami wiekowymi pola geomagnetycznego obserwowany w ostatnich 3 latach dał impuls do przeprowadzenia analizy rozkładu przestrzenno-czasowego pola geomagnetycznego w Europie Środkowej dla okresu 1980–2005. Niniejsze opracowanie stanowi pierwszą taką analizę przeprowadzoną na podstawie dostępnych danych.

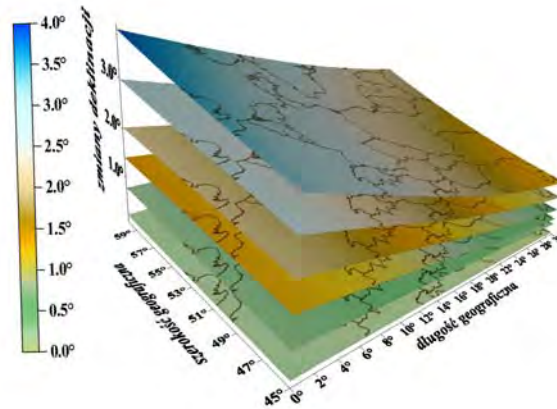
2. OPRACOWANIE MODELI ZMIAN POLA GEOMAGNETYCZNEGO

Na podstawie dostępnych danych magnetycznych opracowano przebieg zmian pola geomagnetycznego na terenie Europy Środkowej, wykazano ich nieprzewidywalne trendy, a co za tym idzie zasygnalizowano trudności, jakich można się spodziewać przy ekstrapolowaniu danych magnetycznych na dalszą epokę. Do opracowania wybrano dwa elementy pola geomagnetycznego – deklinację D i wektor natężenia całkowitego F . Graficznie przedstawiono zmiany modułu i kierunku gradientu zmian wektora F oraz zmiany wartości i kierunku gradientu zmian deklinacji w ostatnim 25-leciu (1980–2005). Dodatkowo porównano zmiany rzeczywiste, opracowane na podstawie danych pomiarowych, ze zmianami opracowanymi na podstawie współczynników modelu IGRF (Geomagnetic Models). Do niniejszego opracowania wykorzystano dane magnetyczne rejestrowane w obserwatoriach europejskich (Worldwide Observatory Annual Means) oraz dostępne dane z pomiarów na sieciach punktów wiekowych. Lokalizacja obserwatoriów i punktów wiekowych pokazana jest na rys. 2.

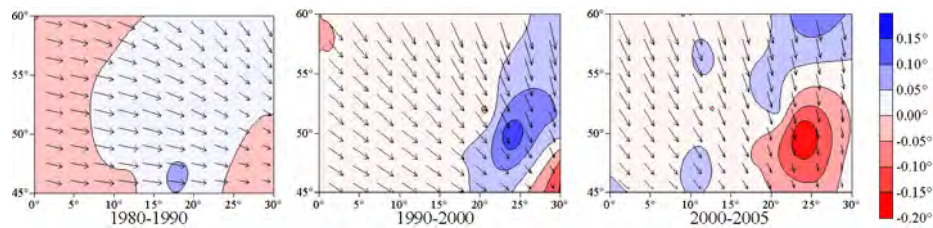
Badany okres podzielono na 3 przedziały:
1980–1990 – okres w miarę systematycznych zmian pola,
1990–2000 – okres załamania się zmian pola,
2000–2005 – okres powrotu do zmian regularnych.

Pierwszy etap pracy polegał na zgromadzeniu dostępnych wartości D i F z obserwatoriów i punktów wiekowych Europy Środkowej z okresu 1980–2005. Jako zerową przyjęto epokę 1970.5. Do prezentacji dynamicznej na podstawie współczynników modelu IGRF przygotowano graficzne obrazy zmian wybranych elementów z częstotliwością roku. Dynamiczną prezentację tych zmian można zobaczyć na stronie Instytutu Geodezji i Kartografii – Zakład Geodezji i Geodynamiki „Dynamiczny model– D , F .ppt” (www.igik.edu.pl). Do analizy zmian elementów pola geomagnetycznego opracowano na podstawie danych pomiarowych trzy modele dla wybranych przedziałów. Na rysunku 3 pokazano zmiany pierwszego wybranego elementu – deklinacji magnetycznej D – obliczone na podstawie współczynników modelu IGRF w badanym okresie z 5-letnim interwałem. Oddają one wiernie rzeczywiste zmiany elementu, a ich obraz jest bardziej czytelny, gdyż pozbawiony przypadkowych błędów rejestracji. Mapy różnic zmian rzeczywistych i obliczonych z IGRF z kierunkami gradientów tych zmian, w wybranych do opracowania przedziałach, przedstawia rysunku 4. Z analizy rysunków wynika, że zmiany deklinacji magnetycznej dotyczą nie tylko jej wartości, ale i kierunku gradientu tych zmian. Kierunek zachód–wschód (południkowy) zmienia się na kierunek północ–południe (równoleżnikowy), przy czym strzałka wskazuje kierunek spadku wartości zmiany deklinacji magnetycznej.

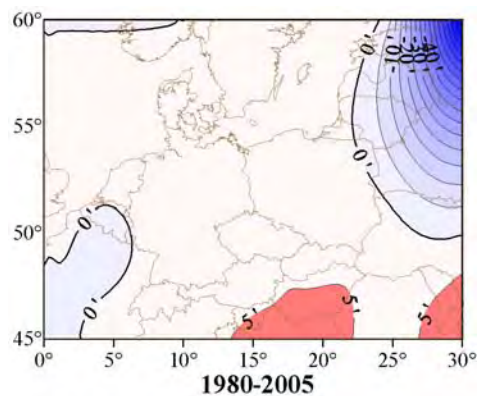
Na rysunku 5 pokazane są różnice między zmianami rzeczywistymi i modelowymi w całym badanym okresie, które dla większej części obszaru Europy nie przekraczają $5'$, czyli wartości średniej zmiany rocznej. Anomalia we wschodniej części opracowywanego obszaru może być wynikiem małej ilości danych z obserwatoriów wschodnioeuropejskich.



Rys. 3. Zmiany deklinacji magnetycznej obliczone na podstawie współczynników IGRF co 5 lat w okresie 1980–2005

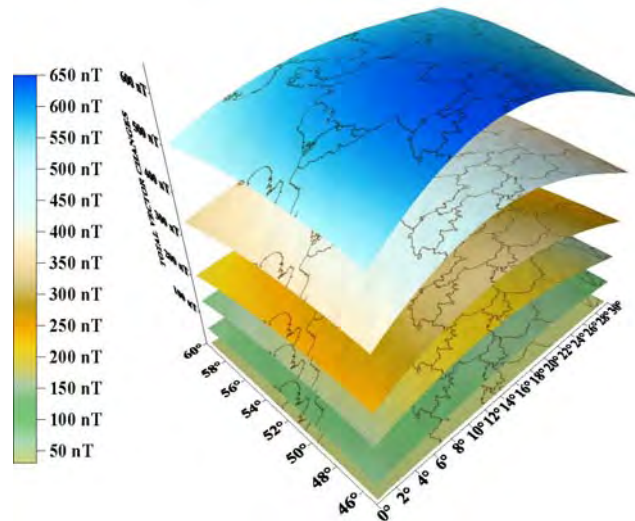


Rys. 4. Kierunki gradientów zmian deklinacji, w wybranych przedziałach, z izogonami różnic tych zmian w stosunku do modelu IGRF

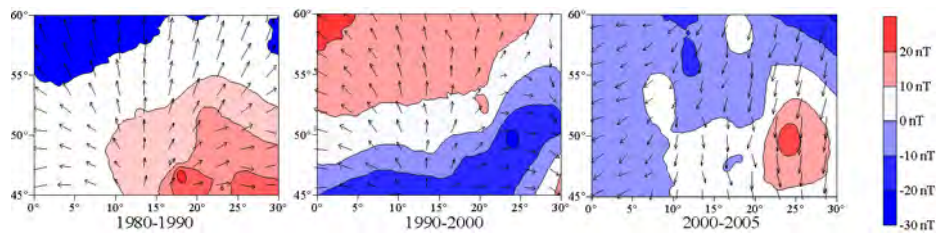


Rys. 5. Różnice zmian między wartością deklinacji rzeczywistej i obliczonej na podstawie współczynników modelu IGRF w całym badanym okresie

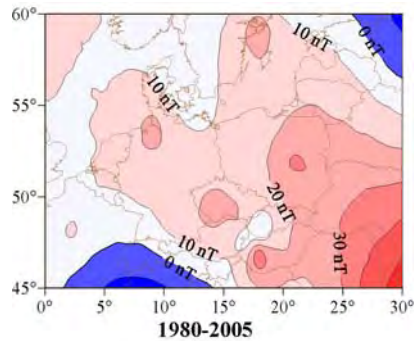
Podobnie zostały opracowane zmiany drugiego, wybranego elementu pola geomagnetycznego – wektora natężenia całkowitego F .



Rys. 6. Zmiany wektora natężenia całkowitego F obliczone na podstawie współczynników IGRF co 5 lat w okresie 1980–2005



Rys. 7. Kierunki gradientu zmian wektora F , w wybranych przedziałach, z liniami różnic tych zmian w stosunku do modelu IGRF



Rys. 8. Różnice zmian między wartościami obserwowanymi i obliczonymi na podstawie współczynników IGRF w całym badanym okresie dla wektora F

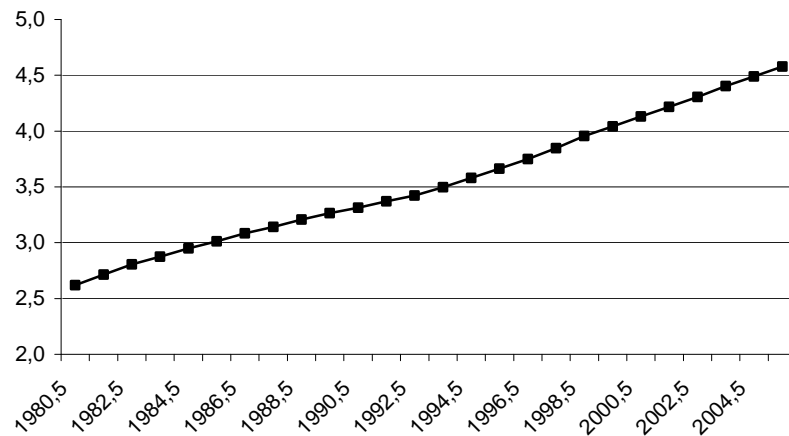
Na rysunku 6 pokazano zmiany tego wektora opracowane na podstawie współczynników IGRF w badanym okresie z 5-letnim interwałem. Mapy różnic zmian rzeczywistych wektora \mathbf{F} (otrzymanych z danych pomiarowych) i zmian otrzymanych z modelu IGRF z kierunkami tych zmian, w wybranych do opracowania przedziałach, pokazane są na rysunku 7. Z rysunków wynika, że zmianom ulega nie tylko moduł wektora \mathbf{F} , ale także kierunek gradientu jego zmian. W Europie Środkowej kierunek ten z południe–północ zmienił się na północ–południe, w szczególności po 2000 roku. Strzałki wskazują kierunek spadku wartości zmian wektora \mathbf{F} . Na rysunku 8 pokazane są różnice zmian rzeczywistych i modelowych w całym badanym okresie. Podobnie jak w przypadku deklinacji, różnice te nie przekraczają wartości średniej zmiany rocznej tzn., 40 nT. Maksymalne różnice zmian pola zlokalizowane na wschodzie opracowywanego obszaru mogą wynikać z braku danych magnetycznych na wschód od Polski.

Do badania globalnych zmian wiekowych w dłuższym okresie można wykorzystać światowy model pola magnetycznego IGRF. Przewidywany błąd nie powinien przekroczyć wartości średniej zmiany rocznej elementu tego pola (rys. 5 i rys. 8) (Peddie, 1992).

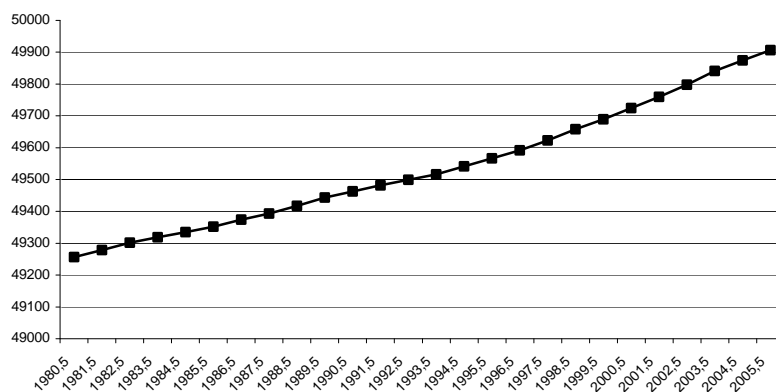
3. KONTROLA OPRACOWANYCH MODELI

Poprawność opracowanych modeli sprawdzono poprzez analizę rzeczywistego przebiegu zmian deklinacji magnetycznej D i wektora natężenia całkowitego \mathbf{F} w wybranych obserwatoriach. Jest to osiem obserwatoriów europejskich leżących na zachód i wschód oraz północ i południe od centralnego polskiego obserwatorium Instytutu Geofizyki PAN w Belsku (BEL), wybranego jako obserwatorium odniesienia. Na rysunku 2 obserwatoria te zaznaczono dodatkowymi kółeczkami i połączono czarną linią.

Na rysunkach 9 i 10 przedstawiono kolejno zmiany deklinacji magnetycznej D i zmiany wektora natężenia całkowitego \mathbf{F} w Belsku w badanym okresie. Na obu rysunkach można zauważyć, około epoki 1992.5, zmianę szybkości zmian analizowanych elementów. Podobną tendencję zmian wektora \mathbf{F} uzyskano na profilu Zgorzelec–Wiżajny, przecinającym strefę Teisseyre’a–Tornquista (T-T), wykorzystywanym do badań geodynamicznych na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH (Bojdys, 2006; Małoszewski, 1965). Obliczono także zmiany deklinacji i wektora \mathbf{F} w wybranych obserwatoriach względem Belska. Rysunki 11 i 12 przedstawiają zmiany w obserwatoriach leżących na linii północ–południe [Lovo (LOV), Hel (HLP), Hurbanowo (HRB)], a rysunki 13 i 14 na linii zachód–wschód [Chambon La Foret (CLF), Niemegk (NGK), Pleszczenice (MNK), Krasna Pachra (MOS)]. Moment, w którym nastąpiła zmiana wartości deklinacji wraz ze zmianą kierunku jej gradientu z południkowego na równoleżnikowy można wskazać w epoce 1992.5 na rysunku 11 i 13. Zmiany te potwierdza zwrot gradientu przedstawiony strzałkami na rysunku 4.



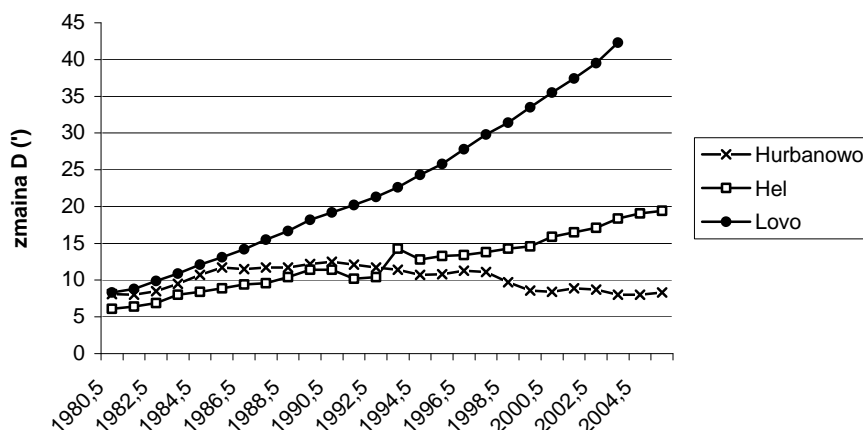
Rys. 9. Przebieg deklinacji w Belsku w badanym okresie (w stopniach)

Rys.10. Zmiany wektora natężenia całkowitego F w Belsku (w nT)

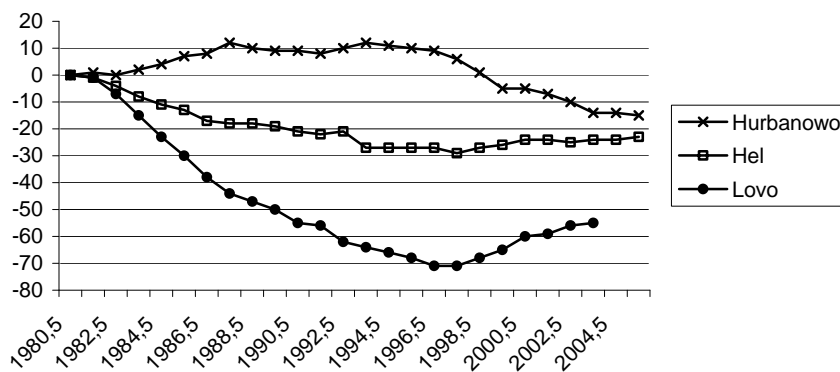
Wektor natężenia całkowitego F na linii północ–południe (rys. 12) wykazuje równomierny wzrost do epoki 1992.5, podobnie jak w przypadku deklinacji, by potem przez około 5 lat nie rejestrować żadnego przyrostu. Od około 1995 r. da się zauważyć przekierowanie jego zmian z południowego na północny, co jest również zgodne ze zmianami pokazanymi na rysunku 7.

Kierunki zmian gradientu deklinacji zachowują się podobnie na terenie objętym tym opracowaniem, są więc łatwe do opisu. Kierunki zmian wektora F zależą od czasu i współrzędnych geograficznych. W okresie objętym opracowaniem zmiany tych kierunków były podobne w pasie między południkami

10° i 15°. Na wschód i zachód od tego pasa kierunki te mają charakter zróżnicowany, co widać na rysunku 7.



Rys. 11. Zmiany deklinacji względem Belska na kierunku północ – południe

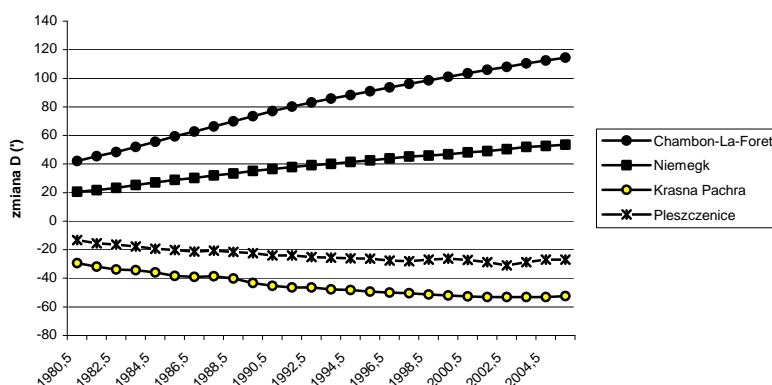


Rys. 12. Zmiany wartości wektora natężenia całkowitego F , zredukowane do epoki 1980.5, względem Belska na kierunku północ–południe (w nT)

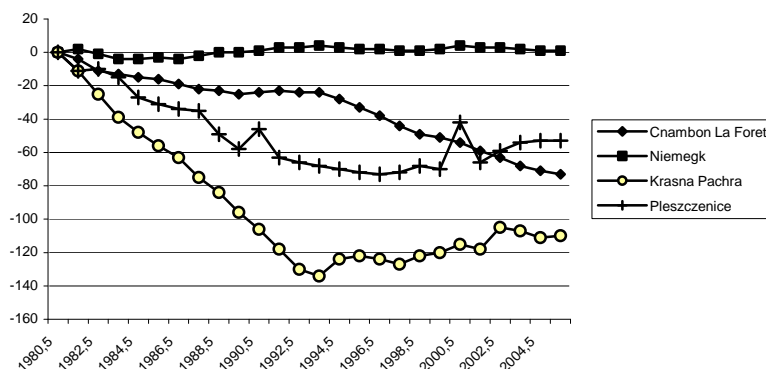
Wykres zaprezentowany na rysunku 14, przedstawiający zmiany wektora F względem Belska na linii zachód–wschód, wymaga pewnego objaśnienia. Zmiany w obserwatorium Niemegk są bardzo podobne do zmian w Belsku. Zmiany na zachodzie Europy (Chambon La Foret) na początku badanego okresu były podobne do zmian w Belsku, a po roku 1995 szybko zaczęły maleć. Prze-

ciwnie, na wschodzie (Krasna Pachra), gdzie do roku 1995 zmiany szybko malały, by potem stopniowo rosnać. Zaobserwowane skoki zmian F w obserwatorium w Pleszczenicach są prawdopodobnie wynikiem zakłóceń rejestracji.

Na rysunku 15 przedstawiono różnice zmian deklinacji magnetycznej w minutach na linii zachód–wschód (Chambon La Foret – Krasna Pachra) oraz północ–południe (Lovo – Hurbanowo). Do początku lat 90. różnica zmian deklinacji między liniami zachód–wschód i północ–południe maleje z $5'$ do blisko $1'$ (około 1992 r.), by po 2002 r. zmienić znak i gwałtownie się powiększać. Po 2003 r. obserwatorium w Lovo przestało pracować i brak danych z dwóch ostatnich epok nie pozwala na ostateczne potwierdzenie tej tendencji. Można jednak zauważyć przesunięcie kierunku zmian z równoleżnikowego na południkowy, co pokazują także strzałki na rysunku 4.

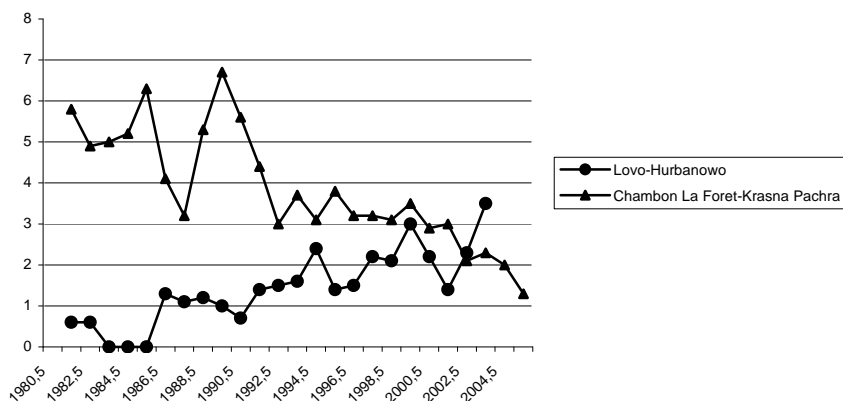


Rys. 13. Zmiany deklinacji względem Belska na kierunku zachód–wschód

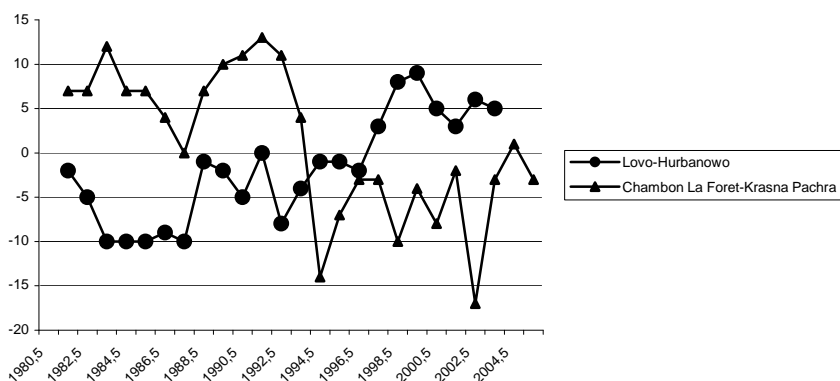


Rys. 14. Zmiany wartości wektora natężenia całkowitego F , zredukowane do epoki 1980.5, względem Belska na kierunku zachód–wschód (w nT)

Wykres zaprezentowany na rysunku 16 pokazuje różnice zmian wektora \mathbf{F} na dwóch wybranych liniach. Różnica zmian między liniami zachód–wschód i północ–południe wynosi średnio około 10 nT. W epoce 1992.5 nastąpiła zmiana kierunku zmian wektora \mathbf{F} , szczególnie wyraźna na linii północ–południe. Niewyjaśnione skoki zmian wartości wektora \mathbf{F} na linii zachód–wschód w epoce 1994.5 i 2002.5 mogą być spowodowane rzeczywistymi lokalnymi skokami zmian pola magnetycznego w rejonie obserwatorium moskiewskiego lub błędami rejestracji.



Rys. 15. Różnice zmian deklinacji (w minutach) na linii zachód–wschód i północ–południe



Rys. 16. Różnice zmian wektora natężenia całkowitego \mathbf{F} (w nT) na linii zachód–wschód i północ–południe

4. OSZACOWANIE BŁĘDÓW PROGNOZOWANIA ZMIAN POLA GEOMAGNETYCZNEGO

W celu wyznaczenia błędu, jakiego można się spodziewać przy ekstrapolacji danych magnetycznych, postanowiono wykorzystać ciąg obserwacji z lat 1980–1992, czyli z okresu względnie regularnych zmian pola. Jako epokę ekstrapolacji przyjęto epokę 2000.5, w której nastąpiło załamanie się dotychczasowej tendencji zmian pola geomagnetycznego. Do opracowania wybrano deklinację magnetyczną, jako element dobrze oddający charakter zmian tego pola. Ekstrapolację przeprowadzono liniowo oraz wielomianem 2-go stopnia. W tabeli 1 zapisano wartości deklinacji uzyskane z pomiaru, z ekstrapolacji i obliczone różnice między tymi wartościami. Wartości te reprezentują rząd rozbieżności, jakiego należy się spodziewać, wynikający z nieregularności zmian pola geomagnetycznego i z wyboru metody ekstrapolacji. Przy ekstrapolacji wielomianem różnica między wartością obserwowaną i ekstrapolowaną wynosi około 30', czyli równa się około 5-letniej średniej rocznej zmianie deklinacji. Przy ekstrapolacji liniowej różnica ta jest znacznie mniejsza i wynosi około 10'. Wynika stąd, że dla okresów dłuższych niż 2–3 lata lepsza jest ekstrapolacja liniowa, która obciążona jest błędem równym dwukrotnej zmianie rocznej. Generalnie rzecz biorąc, należy przyjąć, że ze względu na nieprzewidywalność zmian pola geomagnetycznego żadna metoda ekstrapolacji nie jest w stanie dać poprawnej prognozy na okres dłuższy niż 2–3 lata.

Tabela 1. Zestawienie różnic między wartościami pomiarowymi deklinacji i wartościami z interpolacji wielomianowej i liniowej

Nazwa obserwatorium	Wartość zarejestrowana D 2000.5	Interpolacja wielomian. Dw	Interpolacja liniowa Dl	D-Dw w minutach	D-Dl w minutach
Belsk	+4°,13	+3°,75	+4°,00	23	8
Chambon	–1°,80	–2°,20	–1°,90	24	6
Niemegk	+1°,38	+0°,98	+1°,20	24	11
Krasna Pachra	+8°,86	+8°,30	+8°,58	34	11
Lovo	+3°,49	+2°,90	+3°,20	35	17
Hel	+2°,86	+2°,30	+2°,65	34	13
Hurbanowo	+2°,67	+2°,20	+2°,55	28	7

5. PRZYKŁAD WYKORZYSTANIA ZNAJOMOŚCI ZMIAN POLA GEOMAGNETYCZNEGO

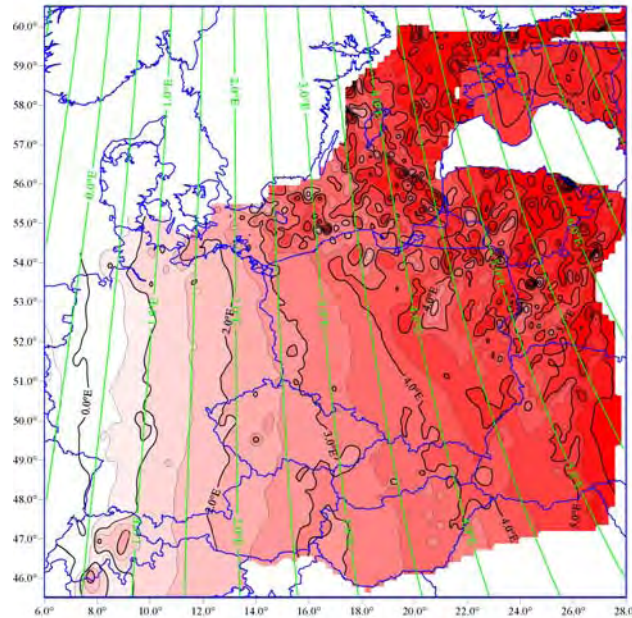
Wszystkie dostępne dane magnetyczne z Europy Środkowej, z różnych epok pomiarowych, zostały zredukowane do jednej epoki 2006.5. Wykorzystano je do sporządzenia mapy deklinacji magnetycznej (rys. 17), na którą naniesiono izogony deklinacji obliczonej na podstawie współczynników modelu IGRF2005 (linie zielone). Rysunek pokazuje wyraźnie zgodność przebiegu izogon na tere-

nach spokoju magnetycznego i duże rozbieżności na terenach anomalnych (na północny wschód od strefy T–T). Ponieważ różnice między izogonami IGRF i izogonami rzeczywistymi mogą dochodzić nawet do kilku stopni, należałoby ograniczyć korzystanie z danych modelowych na terenach anomalnych, szczególnie wtedy, gdy wymagane są duże dokładności wartości elementów pola geomagnetycznego, np. przy wyznaczeniach magnetycznych dla lotnictwa, marynarki, geologii czy wojska. Dane te można wykorzystywać jedynie do redukcji wcześniej wyznaczonych z bezpośrednich pomiarów wartości elementów pola magnetycznego na żądaną epokę.

6. PODSUMOWANIE

Rezultaty osiągnięte przez autorkę pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- do opracowań dotyczących magnetycznego pola Ziemi niezbędne są dane nie tylko z pomiarów bieżących, ale także dane znajdujące się w zasobach archiwalnych; wynika to z charakteru zjawiska pola geomagnetycznego, zachodzącego w przestrzeni czterowymiarowej;
- należy prowadzić ciągłą analizę zmian wiekowych pola geomagnetycznego, gdyż, jak widać z niniejszego opracowania, zmienia się w sposób nieprzewidywalny zarówno ich moduł, jak i kierunek; możliwość takiej analizy, oprócz wyników rejestracji w obserwatoriach, zapewniają wyniki systematycznych pomiarów na punktach wiekowych (co 2–3 lata) oraz powtarzanych pomiarów na punktach sieci podstawowej;
- do prawidłowej redukcji na wybraną epokę wartości otrzymanych z pomiarów niezbędne są pełne roczne serie danych z najbliższych obserwatoriów oraz wyniki pomiarów na punktach wiekowych;
- do opracowywania map elementów pola geomagnetycznego, szczególnie na terenach anomalnych, nie można wykorzystywać danych z modelu IGRF, lecz należy wykonać bezpośrednie pomiary magnetyczne w terenie; dane z modelu mogą posłużyć jedynie jako pole normalne i jako dane do redukcji pomierzonych elementów pola magnetycznego na wybraną epokę;
- z rozbieżności między zmianami pola geomagnetycznego obliczonymi na podstawie modelu IGRF oraz na podstawie danych rzeczywistych uzyskanych z pomiarów bezpośrednich, mogą wynikać niewielkie różnice w wartości i graficznym zobrazowaniu anomalii magnetycznych opracowanych w różnych epokach dla tego samego rejonu; dotyczy to anomalii wyznaczanych jako różnica między aktualną wartością elementu pola normalnego (IGRF) i wartością tego elementu otrzymaną z obserwacji; w okresie 1980–2005 różnice te mogą dochodzić do 5' dla deklinacji i do 40 nT dla wektora natężenia całkowitego.



Rys. 17. Deklinacja magnetyczna na epokę 2006.5

Niniejsze opracowanie wykonano w ramach prac statutowych „Problemy Geodezji i Geodynamiki” w Zakładzie Geodezji i Geodynamiki Instytutu Geodezji i Kartografii.

Autorka wyraża serdeczne podziękowania prof. Andrzejowi Sas-Uhrynowskiemu oraz dr. Andrzejowi Markowi Żółtowskiemu za konsultacje i cenne uwagi, które przyczyniły się w dużym stopniu do uniknięcia niezręcznych lub niejasnych sformułowań zawartych w tym opracowaniu.

LITERATURA

Bojdys G., Grabowska T., Marchewka J., Suchoń B., 2006, *Analiza względnych zmian wiekowych pola magnetycznego ziemi (1966–2005) wzdłuż profilu Zgorzelec-Wiżajny*, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, *Geologia* 32, T.4, 375–388.

Janowski B.M. *Magnetyzm ziemski*, PWN 1958

Langel, R. A., 1992, *International Geomagnetic Reference Field: The sixth generation*, *J. Geomagn. Geoelectr.*, 44, 679–707.

- Małoszewski S. & Jankowski J., 1997. *On secular variations of the geomagnetic field along a profile across the Teisseyre-Tornquist Zone*. Acta Geophysica Polonica.
- Małoszewski S., 1965. *O zmianach wiekowych natężenia ziemskiego pola magnetycznego na ziemiach Polski oraz o ich zależności od współrzędnych geograficznych i budowy geologicznej*. Zeszyty Nauk. AGH, Rozprawy 44, Kraków.
- Mroczek S., Uhrynowski A., Welker E., Żółtowski M., 1996, *Magnetic Secular Variation Network in Poland and results of observations in the period 1970–1990*. Materiały VII IAGA Workshop, Niemegk-Wittenberg.
- Peddie, N. W., 1992, *Analysis of geomagnetic secular variation during 1980–1985 and 1985–1990, and geomagnetic models proposed for the 1991 revision of the International Geomagnetic Reference Field*, J. Geomagn. Geoelectr., 44, 735–743.
- Teisseyre’a R., 1983, *Fizyka i ewolucja wnętrza Ziemi PAN* (Monografia), PWN, tom 2.
- Welker E., Żółtowski A., 1993, *Normalne pole zmian wiekowych magnetyzmu ziemskiego na obszarze Polski*. Prace IGiK, T.XL, z.1, 103–118.
- Geomagnetic Models, <http://www.ngdc.noaa.gov/seg/geomag/models.shtml>
- Results of geomagnetic observations*, Publications of the Institute of Geophysics, Polish Academy of Sciences, Warszawa 2006. Nr C-97 (393).
- Worldwide Observatory Annual Means, <http://www.geomag.bgs.ac.uk>

Recenzował: prof. dr hab. inż. Marcin Barlik

ELŻBIETA WELKER

Institute of Geodesy and Cartography

CHANGES OF EARTH’S MAGNETIC FIELD IN THE PERIOD 1980-2005 ON THE BASIS OF CHANGES OF ITS TWO SELECTED ELEMENTS

Summary

Magnetic field observed on the surface of Earth is the sum of fields formed by inner sources located in Earth’s nucleus and crust as well as by outer sources existing in ionosphere and magnetosphere. This field is subject

to continuous changes characterised by different frequencies, from fractions of seconds till hundreds of years. Log-term changes, called secular changes, cannot be described in mathematical form; knowledge on these changes is indispensable for development of Earth sciences. On the basis of two selected elements of Earth's magnetic field – declination D and vector of total intensity F – change of magnetic field was presented on the territory of Central Europe. The study was based on data collected from European observatories and on available data from secular points of Europe and points of magnetic survey. In addition, IGRF model computed in 5-year's cycle by NASA, was used for the analysis. Changes of the selected components of Earth's magnetic field were presented using spatial models prepared with 5-year's frequency and with the help of graphs. Graphs were prepared using profiles, which cross Europe in west-east and north-south direction, starting from geophysical observatory in Belsk, assumed as base observatory. Both results obtained from analysis of changes of spatial models and those revealed on graphs indicated, that changes of elements of magnetic field in the studied period – 1980–2005 – have incidental character. Additionally, on the basis of data from measurements impact of method of extrapolation on results was studied and probable errors were calculated. As a result of analysis linear method of extrapolation can be assumed as the most accurate for period longer than three years. The expected error can be comparable to mean annual change and for longer period it can be even two times larger.

Knowledge concerning secular changes of magnetic field of Earth is used by surveyors, geophysicists, in navigation and in military service. As an example of using these changes the map of magnetic declination of Europe, prepared for 2006.5 epoch, can be mentioned.

As a result of this work it was confirmed, that continuous examination of geomagnetic field and systematic measurements within networks of secular points in Europe are necessary. In addition, discrepancies between data from IGRF model and data from measurements within anomaly regions were demonstrated. These discrepancies can reach 2–3 degrees, which disqualifies IGRF global model as a source material for detailed and local studies.

Translation: Zbigniew Bochenek

Keywords: Earth magnetic field, annual changes of the geomagnetic field, magnetic declination, total intensity vector of the geomagnetic field, magnetic survey (measurements), magnetic repeat stations, IGRF magnetic field model