

PAŃSTWOWA SŁUŻBA GEOLOGICZNA
PAŃSTWOWY
INSTYTUT GEOLOGICZNY

SERVICE GÉOLOGIQUE DE POLOGNE
INSTITUT
GÉOLOGIQUE DE POLOGNE

Biuletyn 45
Séria geofizyczna Nr 3

Bulletin 45
Série géophysique Nr 3



TADEUSZ OLCZAK – JAN SKORUPA

P. 1214/48

ZDJĘCIA INKLINACJI MAGNETYCZNEJ NA MAZOWSZU
W 1946 R.

(z 2 tablicami i 2 figurami w tekście)

THE RESULTS OF MEASUREMENTS OF THE MAGNETIC INCLINATION
IN THE MAZOWSZE AREA (CENTRAL POLAND) IN 1946

(with 2 plates and 2 figures in the text)

TADEUSZ OLCZAK

POMIARY WAGĄ SKRĘCEŃ I PROBLEM WYZNACZENIA
WYŻSZYCH POCHODNYCH NORMALNYCH
ZEWNĘTRZNEGO POTENCJAŁU SIŁY CIĘŻKOŚCI

(z 2 figurami w tekście)

THE MEASUREMENTS WITH THE EÖTVÖS TORSION BALANCE
AND THE PROBLEM OF DETERMINING THE HIGHER NORMAL
DERIVATIVES OF THE EXTERNAL GRAVITY POTENTIAL

(with 2 figures in the text)

W A R S Z A W A

Skład Główny: Państwowy Instytut Geologiczny, Rakowiecka 4

1 9 4 8

PAŃSTWOWA SŁUŻBA GEOLOGICZNA
PAŃSTWOWY
INSTYTUT GEOLOGICZNY

SERVICE GÉOLOGIQUE DE POLOGNE
INSTITUT
GÉOLOGIQUE DE POLOGNE

Biuletyn 45
Seria geofizyczna Nr 3

Bulletin 45
Série géophysique Nr 3

TADEUSZ OLCZAK – JAN SKORUPA

ZDJĘCIA INKLINACJI MAGNETYCZNEJ NA MAZOWSZU
W 1946 R.

(z 2 tablicami i 2 figurami w tekście)

THE RESULTS OF MEASUREMENTS OF THE MAGNETIC INCLINATION
IN THE MAZOWSZE AREA (CENTRAL POLAND) IN 1946

(with 2 plates and 2 figures in the text)

TADEUSZ OLCZAK

POMIARY WAGĄ SKRĘCEŃ I PROBLEM WYZNACZENIA
WYŻSZYCH POCHODNYCH NORMALNYCH
ZEWNĘTRZNEGO POTENCJAŁU SIŁY CIĘŻKOŚCI

(z 2 figurami w tekście)

THE MEASUREMENTS WITH THE EÖTVÖS TORSION BALANCE
AND THE PROBLEM OF DETERMINING THE HIGHER NORMAL
DERIVATIVES OF THE EXTERNAL GRAVITY POTENTIAL

(with 2 figures in the text)

W A R S Z A W A

Skład Główny: Państwowy Instytut Geologiczny, Rakowiecka 4

1 9 4 8



P. 1214/48

Rękopis złożono w P.I.G. 20.XII.1947 r.

Zatwierdzono do druku 29.XII.1947 r.

Dyrektor JAN CZARNOCKI

P. 239/60

Redaktor Techniczny — STANISŁAW KRAJEWSKI

Oddano do drukarni 30.XII.1947 r. — Druk ukończono 30.VI.1948 r.

TADEUSZ OLCZAK – JAN SKORUPA

ZDJĘCIA INKLINACJI MAGNETYCZNEJ NA MAZOWSZU
W 1946 R.

(z 2 tablicami i 2 figurami w tekście)

THE RESULTS OF MEASUREMENTS OF THE MAGNETIC INCLINATION
IN THE MAZOWSZE (CENTRAL POLAND) AREA IN 1946

(with 2 plates and 2 figures in the text)

SPIS RZECZY — CONTENTS

	Str.
Wstęp	5
1. Metoda pomiaru inklinacji magnetycznej	7
2. Pomiary w terenie	11
3. Opracowanie pomiarów	12
4. Wyniki pomiarów	14
Literatura	18
Szczegółowe wyniki pomiarów inklinacji magnetycznej wykonanych w 1946 r.	19
Summary	26

W S T Ę P

Praca niniejsza zawiera szczegółowe wyniki pomiarów inklinacji magnetycznej, wykonanych przez Grupę pomiarów magnetycznych P. I. G. w 1946 r. Terenem pracy był obszar kraju od Sierpca, Raciąża, Ciechanowa, Opinogóry i Pułtuska na północy i od Tłuszcza, Siedlec i Żelechowa na wschodzie, po Dęblin, Głowaczew, Mszczonów, Łowicz, Kutno i Gostynin na południu i zachodzie. Ponadto wykonane zostały w sezonie 1946 r. pomiary inklinacji magnetycznej w kilku odosobnionych punktach kraju (Kielce, Kraków, Poraj i Racibórz) celem zebrania materiału obserwacyjnego dla bliższego wyznaczenia zmian wiekowych tego elementu ziemskiego pola magnetycznego.

Obszar wymieniony wyżej, zdjęty jednolicie przy pomocy równomiernie rozłożonej sieci punktów pomiarowych, przypada na następujące arkusze mapy 1:300.000:

1. Płock	19,3%	powierzchni	arkusza	1:300.000
2. Warszawa	44,4	„	„	„
3. Radom	14,4	„	„	„
r a z e m	78,1 ⁰ / ₀	„	„	„

obejmując następujące arkusze 1:100.000:

1. na arkuszu 1:300.000 Płock: Drobin, Wyszogród oraz częściowo: Raciąż, Łowicz, Płock, Gostynin, Kutno.

2. na arkuszu 1:300.000 Warszawa: Płońsk, Modlin, Żyrardów, Warszawa północ, Warszawa południe, Mińsk Mazowiecki oraz częściowo: Ciechanów, Maków, Pułtusk i Tłuszcz.

3. na arkuszu 1:300.000 Radom: Grójec i Garwolin oraz częściowo: Mszczonów, Białobrzegi, Kozienice i Żelechów. Razem arkuszy 1:100.000 zostało wykonanych 10, rozpoczętych zaś i niewykończonych — 13. Cał-

kowita powierzchnia zdjęcia objęła obszar ok. 12.200 km². Na obszarze tym wykonano pomiary w 230 punktach (w 11 punktach wykonano pomiary dwukrotnie), co daje średnią gęstość zdjęcia ok. 23 punktów na arkusz mapy 1:100.000.

Teren pracy był dotychczas tylko w swej części południowej przedmiotem szczegółowszych badań magnetycznych. Pomiary składowej pionowej wykonane przed wojną w tej części obszaru przez grupy pomiarowe

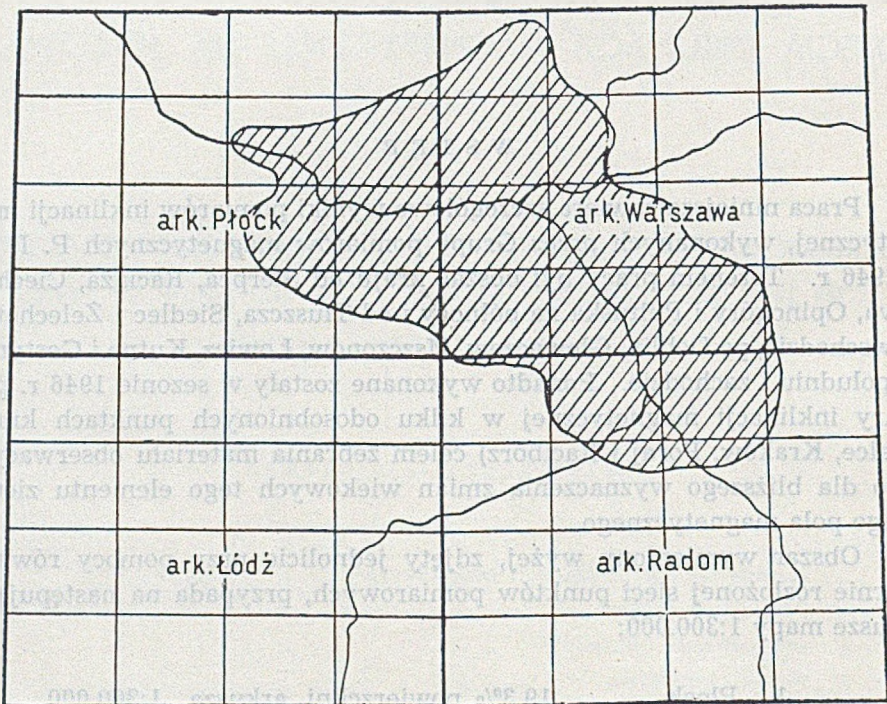


Fig. 1. Obszar pomiarów inklinacji magnetycznej na arkuszach 1:300.000: Płock, Warszawa, Radom.

Area of measurements of magnetic inclination — sheets — map 1:300.000: Płock, Warszawa, Radom.

P. I. G. stwierdziły tam system silnych dodatnich anomalii magnetycznych, wygasających ku południowemu zachodowi, szybko natomiast wzrastających ku wschodowi i ku północy. Tak np. na N od Wyszogrodu stwierdzoną została rozległa anomalia przekraczająca + 500 γ w rejonie zaś Grójca anomalia przekraczająca + 550 γ . Dalej na północ i na wschód prace te wówczas nie sięgały. Wyniki podane w podstawowym zdjęciu magnetycznym Polski, wykonanym przez S. K a l i n o w s k i e g o (7), stwierdzające w najogólniejszym naturalnie zarysie to samo zjawisko na

interesującym nas obszarze, zachęcały do kontynuowania prac szczegółowych, w szczególności zaś do przeniesienia ich głębiej na północ i na wschód, na prawy brzeg Wisły.

Rezultaty prac przedsięwziętych i zorganizowanych przez Wydział Geofizyki Stosowanej w pierwszym po wojnie sezonie geofizycznych robót terenowych P. I. G. przynosi praca niniejsza. Dorzucają one pewną ilość nowego materiału do znajomości struktury czynnego magnetycznie podłoża naszego kraju, w jednej z ciekawszych jego okolic.

1. Metoda pomiaru inklinacji magnetycznej

Inklinacja magnetyczna jest kątem, jaki tworzy z poziomem kierunek wektora magnetycznego pola ziemskiego. Kąt ów mierzono do niedawna przy pomocy t. zw. inklinatorów. W przyrządach tych, igła magnetyczna zaopatrzona w oś obrotu przechodzącą przez środek masy, ustawia się w płaszczyźnie pionowej tylko pod działaniem sił magnetycznego pola ziemskiego, a nachylenie jej do poziomu jest odczytywane na kole pionowym. Liczne trudności pomiaru tym przyrządem i niska jego dokładność znane były oddawna (patrz np. starsze opisy inklinatorów u H u t t a — 6, L e y s t a — 10 lub L a m o n t a — 9; z dzieł nowszych patrz B o c k — 1). Obecnie inklinatoria, jako przyrządy przestarzałe wychodzą z użycia, a w ich miejsce stosowane są nowoczesne induktory ziemskie (Earth-inductor), zezwalające osiągać w znacznie krótszym czasie pomiaru znacznie dokładniejszy wynik.

Zasada induktorów ziemskich w zaczątkowej formie podana jeszcze przez F a r a d a y a i częściowo urzeczywistniona przez W e b e r a (17), jest następująca. W cewce wirującej dokoła osi, której położenie dokładnie daje się oznaczyć, ziemskie pole magnetyczne wywołuje prąd indukowany. Zgodnie z prawem indukcji kierunek prądu w każdym elemencie wirującej cewki tworzyć będzie, jako trzeci, z kierunkiem pola ziemskiego (liczonego od S ku N) i kierunkiem ruchu tego elementu, trójś lewoskrętną; całkowite napięcie wywołujące prąd indukowany, będzie równe iloczynowi zmiany czasowej strumienia magnetycznego należącego do konturu cewki przez ilość zwojów cewki. Prąd indukowany zbierany jest na kolektorze umieszczonym na osi obrotu cewki i jako jednokierunkowy prąd pulsujący przeniesiony jest na przyrząd pomiarowy. Pomiar inklinacji polega na zastosowaniu metody zerowej, a mianowicie na odnalezieniu tego nachylenia osi obrotu cewki, przy którym instrument pomiarowy wskazuje całkowity zanik prądu indukowanego. Owo „bezprądowe“ położenie jest tym, w którym oś obrotu cewki jest dokładnie równoległą do wektora magnetycznego pola ziemskiego i położenie to odczytuje się na kole pionowym induktora.

Do pomiarów inklinacji magnetycznej, jakie stanowią przedmiot pracy niniejszej, użyty został induktor ziemski typu polowego firmy „Askania-Werke“ Nr 363889 z galwanometrem strunowym firmy Edelmann Nr 1283. Oba te instrumenty nabyte zostały dla P. I. G. w 1943 r.

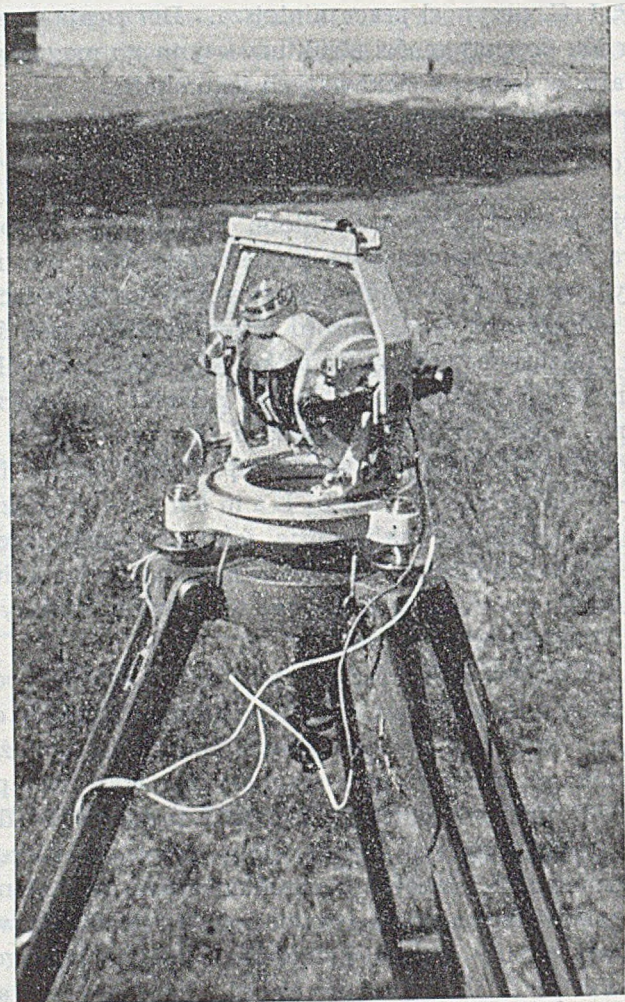


Fig. 2. Induktor ziemski „Askania”.
Earth inductor „Askania”.

Induktor ziemski „Askania” posiada koło poziome o średnicy 155 mm, podzielone co 1° i dające się odczytywać przy pomocy noniusza z dokładnością $2'$. Koło pionowe induktora, o średnicy 100 mm i podziale co $20'$ daje się odczytywać przy pomocy dwóch mikroskopów z dokładnością $30''$.

Cewka wirująca osadzona jest na specjalnych łożyskach (półkule metalowe w stożkach agatowych) w pierścieniu kardanowym, wraz z którym jej oś obrotu daje się dowolnie nachylać. Czopy pierścienia kardanowego osadzone są w korpusie przyrządu w sposób podobny jak w teodolitach, dzięki czemu umieszczać można bezpośrednio na nich nasadkę dla libeli wzgl. busoli. Specjalna śruba zaciskowa unieruchamia pierścień przy wszelkich pochyleniach osi obrotu cewki. Precyzyjne ustawianie tych nachyleń umożliwia śruba mikrometryczna o bębnie podzielonym na 12 części, której jeden obrót odpowiada zmianie pochylenia o 1° . W ten sposób szacować można nachylenia z dokładnością około $0',5$ i odczytywać je na kole pionowym, którego dokładność odczytu jest mniej więcej tego samego rzędu. Przyrząd niweluje się przy pomocy libeli nasadkowej, ponadto specjalna libela wysokiej czułości umieszczona jest na średnicy cewki prostopadłej do jej osi obrotu, służąc do wyznaczenia miejsca zenitu kola pionowego. Napęd cewki jest ręczny, bądź bezpośrednim działaniem na śrubę umieszczoną na przedłużeniu osi obrotu, bądź też za pośrednictwem korby i giętkiego wału ze spirali fosforo-bronzowej. Azymut magnetyczny osi obrotu doprowadza się do zera przy pomocy busoli nasadkowej. Szczegółowsze dane dotyczące teorii i konstrukcji induktora ziemskiego, a specjalnie dane dotyczące wpływu błędu ustawienia przyrządu w południku, podają H u t t (7), S c h e r i n g (15), S c h a p e r (14), D o r s e y (2), V e n s k e (18) i E g e d a l (5). Metodę pomiaru i opracowania podaje szczegółowo B o c k (1).

Zasada galwanometru strunowego dobrze jest znana i nie wymaga wyjaśnień. Szczegółowy opis tego przyrządu podają T h. E d e l m a n n (3), M. E d e l m a n n (4) i L u t z (11). Ograniczymy się wobec tego do podania niektórych tylko danych. Dwa magnesy w kształcie podków, stanowiące jednocześnie korpus przyrządu, mają wymiary $162\text{ mm} \times 35\text{ mm} \times 26\text{ mm}$. Nici (złota) ma długość 62 mm i średnicę 0.006 mm . Powiększenie mikroskopu jest 60-krotne. Opór wewnętrzny jest ok. 140 ohm . Czułość, zależnie od napięcia nici, które daje się regulować w dość szerokich granicach, waha się od 10^{-5} do 10^{-7} ampera na podziałkę skali okularowej. Galwanometr daje się osadzić na specjalnym trójnogu polowego typu. Wrażliwość tego instrumentu na najdrobniejsze nawet wstrząsy jest tak jednak znaczna, że nigdy tego sposobu osadzania nie mogliśmy w terenie stosować. Zbudowano natomiast specjalną skrzynkę na galwanometr, z odpowiednio wyciętymi otworami dla regulacji przyrządu i obserwacji; skrzynkę tę umieszczano bezpośrednio na ziemi, w cieniu wiatru. Zmuszało to oczywiście obserwatora do pracy w niewygodnej, leżącej pozycji.

Aby usunąć różne źródła błędów pomiaru, pochodzące bądź z niedokładności ustawienia przyrządu i jego rektyfikacji, bądź z niedokład-

ności wykonania przyrządu, bądź wreszcie z powodu nieuniknionych pojawiań się prądów termoelektrycznych w pomiarowym obwodzie, pomiar wykonać trzeba w obu możliwych położeniach pierścienia kardanowego względem cewki, przy obu zwrotach wirowania cewki i przy obu możliwych położeniach kolektora. O konieczności należytego ustawienia statywu na możliwie twardym podłożu i o konieczności możliwie szybkiego wykonania pomiaru, nie potrzeba mówić szerzej. Aby wyżej wymienione pozycje względne poszczególnych elementów przyrządu wszystkie przy pomiarze wyzyskać, ułożony został schemat obserwacyjny, który podajemy poniżej. Na każdy punkt pomiarowy w terenie przypadła w zasadzie jedna seria obserwacyjna według tego schematu wykonana. Seria, jak widać, składa się z dwóch półseryj przy obu położeniach koła pionowego (na W i na E), każda zaś z półseryj — z dwóch niezależnych wyznaczeń inklinacji magnetycznej, wykonanych przy obu zwrotach wirowania cewki. Schemat ten był następujący:

Koło W	Odczyt koła pionowego	Czas
Kolektor na dole (KD)		
Punkt zenitu: Położenie AN	
„ AS	
Cewka wirująca w prawo
„ „ w lewo
Kolektor na górze (KG)		
Cewka wirująca w prawo
„ „ w lewo
Punkt zenitu: Położenie AN	
„ AS	
Koło E		
Kolektor na górze (KG)		
Punkt zenitu: Położenie AN	
„ AS	
Cewka wirująca w prawo
„ „ w lewo
Kolektor na dole (KD)		
Cewka wirująca w prawo
„ „ w lewo
Punkt zenitu: Położenie AN	
„ AS	

Jak widać, seria powyższa składa się z czterech niezależnych wyznażeń inklinacji, wykonanych w różnych położeniach koła pionowego i kolektora. Średnia arytmetyczna z tych czterech wyznażeń winna być wolną od całego szeregu błędów systematycznych spowodowanych konstrukcją mechaniczną induktora, niedokładnością ustawienia itp. przyczynami. Średnia ta winna być ponad to wolną od co najmniej znacznej części wpływów wibracji przyrządu, powolnych skręceń i osiadań statywu.

Momenty obserwacji notowane były w dzienniczku obserwacyjnym z dokładnością do 1 minuty. Momenty te potrzebne są przy redukcji wyników pomiaru ze względu na zmiany dienne.

Analiza większej liczby pomiarów wykonanych w Świdrze, Raciborzu i innych miejscowościach, w których pomiary były powtarzane, pokazuje, że średni błąd pojedynczej serii jest rzędu $\pm 1'$, włączając w to również wszystkie błędy redukcji. Zejście ze średnim błędem wyniku końcowego poniżej $\pm 1'$ jest możliwe przy wykonaniu kilku seryj pomiarowych, o ile możliwości, w różnych dniach.

2. Pomiary w terenie

Prace terenowe rozpoczęto 18 lipca 1946 r. i zakończono 30 października 1946 r. Trwały one razem 105 dni. W tym dni, w których były dokonywane pomiary było 68, reszta 37 dni bądź nie mogła zostać wyzyskana dla pomiarów z powodu niepogód, koniecznych postojów wywołanych defektami samochodu, bądź też z powodu służbowych wyjazdów obserwatora do Warszawy lub Krakowa w związku z koniecznością złożenia comiesięcznych sprawozdań i rozrachunków.

Rozkład obserwacji w czasie przedstawia się następująco:

lipiec	w ciągu 10 dni pracy w terenie				31 pomiarów
sierpień	„	17	„	„	45 „
wrzesień	„	20	„	„	98 „
październik	„	21	„	„	101 „
r a z e m	„	68	„	„	275 „

Jak widać z powyższego, średnia wydajność za cały sezon wyniosła dziennie 4,0 punktów. Maksymalna dzienna wydajność za cały sezon wyniosła w kilku przypadkach 10, a nawet 11 punktów dziennie. Czas pracy na jednym stanowisku wynosił przeciętnie ok. 50 minut, nie wliczając oczywiście przejazdu z punktu na punkt.

Prócz pomiarów powyższych, wykonane zostały pomiary inklinacji na profilu Studzień — Kłodawa — Zawadka w ilości 9 punktów w dniach 14 i 15 listopada 1946 r. przez dr T. O l c z a k a. Sprawozdanie z tych pomiarów przedstawione zostanie osobno. W ten sposób ogólna ilość wykonanych w 1946 r. pomiarów inklinacji magnetycznej wynosi 284.

W pierwszym 6-tygodniowym okresie, obok pomiarów polowych, zorganizowano intensywne szkolenie praktykantów i nowozaangażowanych obserwatorów. W okresie tym większość obserwacji wykonał dr T. O l c z a k, nadzorując jednocześnie przebieg szkolenia. Od początku września 1946 r. aż do końca sezonu robót polowych wykonanie programu przejął inż. J. S k o r u p a. Ilość obserwacji wykonanych przez poszczególnych obserwatorów przedstawia się następująco (w nawiasach podana jest ilość pomiarów uwzględnionych w niniejszej pracy:

inż. J. S k o r u p a	175 (173)
dr T. O l c z a k	69 (52)
W. T r a c z y k i e w i c z, stud. Pol. Warsz.	24 (16)
inni obserwatorzy	16 (—)
r a z e m	284

Grupa pomiarów magnetycznych używała do przewozu sprzętu i obserwatorów samochodu półciężarowego marki Chevrolet (z napędem na jedną oś). Na piaszczystych polnych drogach samochód ten okazał się mało praktyczny i do niektórych przewidzianych programem punktów pomiarowych nie można było dotrzeć. Pochodzą stąd np. luki w zdjęciu na obszarze puszczy Kampinoskiej.

3. Opracowanie pomiarów

Codziennie wyniki pomiarów obliczane były po powrocie z pracy i nanoszone na mapę. Oczywiście nie uwzględniano dziennego ruchu inklinacji i wskutek tego wyniki tych wstępnych rachunków nosiły charakter prowizoryczny. Były one jednak konieczne, by orientować co dzień obserwatora co do jakości zebranego materiału i co do magnetycznego charakteru badanej okolicy.

Dzięki uprzejmości Obserwatorium Geofizycznego im. S. K a l i n o w s k i e g o w Świdrze, które bezinteresownie podjęło się dostarczać dziennych przebiegów składowych pionowej Z i poziomej H wektora magnetycznego oraz ich podstaw rejestracyjnych (przebiegu inklinacji nie rejestruje się), można było bezpośrednio po zakończeniu robót polowych rozpocząć obliczanie koniecznych redukcji. Pracę tą wykonał inż. J. S k o r u p a.

rupa przy pomocy pracowników Grupy pomiarów magnetycznych P. I. G. (D. F e i s t ó w n a, stud. U. W. i W. T r a c z y k i e w i c z, stud. Pol. Warsz.) w miesiącach zimowych 1946/47 r. Przebieg tej pracy pokrótce opiszemy.

Pierwszy krok rachunkowy polegał na obliczeniu absolutnych wartości inklinacji magnetycznej w Świdrze w momentach odpowiadających momentom obserwacji na punktach polowych. Służyły do tego celu nadesłane z Obserwatorium w Świdrze przebiegi dzienne obu składowych Z i H, przebiegi temperatury oraz wartości podstaw.

W dalszym rachunku posłużono się założeniem pełnej równoległości i jednoczesności rzeczywistych przebiegów dziennych inklinacji w Świdrze i na punkcie pomiarowym. Wiadomo wprawdzie, iż założenie takie nie jest w rzeczywistości spełnione i że zmiany dzienne rozbić należy na dwie co najmniej składowe różnego charakteru: zmiany dzienne słoneczne (solar daily variation) i zaburzenia dzienne (disturbance daily variation). W tym też duchu przeprowadzał redukcję niemieckiego zdjęcia magnetycznego A. S c h m i d t (16, p. 15; 17, p. 4); ostatnio zaś E. H. V e s t i n e (19) bliżej zbadał całe zagadnienie. Z szeregu powodów, w szczególności zaś z uwagi na niewielką odległość punktów naszego zdjęcia od Świdra, uważaliśmy za możliwe przyjąć wyżej wymienione upraszczające założenie, zastrzegając sobie jednak powrót do całej sprawy, gdy obszerniejszy materiał pomiarowy będzie tego wymagał. Powstałe w ten sposób błędy, wprawdzie systematycznego charakteru, lecz niewielkie, włączyć trzeba do ogółu błędów, którymi obarczone są otrzymane wyniki.

W następnym kroku rachunkowym utworzone zostały różnice jednoczesnych wartości inklinacji w sensie: punkt polowy — Świder. Różnicom tym dla pomiarów naszych w samym Świdrze wykonanych wypadło przydać znaczenie sumy poprawek: osobowej i instrumentalnej. Na podstawie licznych pomiarów porównawczych w Świdrze przyjęliśmy dla tych różnic wartości następujące:

do dnia 16.VIII.46 r. dla obserw. T. O. — 0',5
od dnia 20.VIII.46 r. dla obserw. J. S. i W. T. + 0',8

Różnice te z właściwym znakiem zostały odpowiednio uwzględnione na wszystkich punktach pomiarowych.

W ostatnim kroku do otrzymanych różnic: punkt polowy — Świder, odpowiednio poprawionych, dodaliśmy wartość średnią w Świdrze:

$$I_{1946,5} = 67^{\circ} 43',9$$

aby w ten sposób otrzymać zespół wyników jednolicie zredukowanych do epoki 1946,5. Dodać trzeba dla ścisłości, iż powyższa średnia wartość

inklinacji magnetycznych w Świdrze, jak nam uprzejmie przy jej nadaniu komunikowało tamtejsze Obserwatorium, jest tylko wartością tymczasową, jednakże o dokładności dla naszych celów całkowicie wystarczającej.

4. Wyniki pomiarów

Wyniki wykonanych pomiarów zestawione zostały w formie tabelarycznej, a ponad to naniesione na dwie mapy umieszczone w załączeniu.

Tabelaryczne zestawienie wyników podane na końcu niniejszej publikacji uporządkowane jest arkuszami mapy 1:100.000. W kolumnie pierwszej zestawienia figuruje numer kolejny pomiaru, dalej zaś następują: nazwa punktu i jego współrzędne geograficzne, data i godzina pomiaru (w czasie uniwersalnym), wreszcie wartości inklinacji magnetycznej zaobserwowanej i zredukowanej do epoki 1946,5. W kolumnie „uwagi“ podano nazwiska obserwatorów (T. O. — dr T. O l c z a k, J. S. — inż. J. S k o r u p a, W. T. — stud. Pol. Warsz. W. T r a c z y k i e w i c z) oraz oznaczono gwiazdką punkty „Zdjęcia“ prof. K a l i n o w s k i e g o. W punktach, w których pomiar wykonany był kilkakrotnie, podano także średnią wartość inklinacji zredukowanej do epoki.

Wyniki naszych pomiarów na 17 punktach „Zdjęcia“ prof. K a l i n o w s k i e g o warto porównać z wartościami podanymi w tymże „Zdjęciu“ dla epoki 1928,5:

P u n k t	E p o k a		Zmiana inklinacji
	1946,5	1928,5	
Raciaż	67°59,5	67°15'	+ 44'
Teresin	67 20,5	66 36	44
Ożarów	67 37,8	66 50	48
Głowaczew	66 53,9	66 02	52
Jasieniec	67 04,9	66 19	46
Kąty	67 29,3	66 41	48
Klarysew	67 39,5	66 51	48
Radzymin	67 32,8	67 04	(29)
Pułtusk	67 30,4	66 39	51
Sobolew	67 10,0	66 17	43
Celestynów	67 35,7	66 45	51
Mrozy	67 36,6	66 47	50
Dębe Wielkie	67 43,0	66 53	50
Tłuszcz	67 29,6	66 38	52
Poraj	66 13,0	65 23	50
Kraków	65 36,2	64 51	45
Kielce	66 11,2	65 23	48
			średnia + 48'

Jak widać z tego zestawienia, średni przyrost inklinacji magnetycznej między 1928,5 i 1946,5 wyniósł + 48' czyli około + 2'7 rocznie. Wyraźnej zależności poszczególnych przyrostów od współrzędnych geograficznych nie widać, materiał obserwacyjny jest bowiem za szczupły i przestrzennie ograniczony. Zwraca uwagę odbiegająca od reszty wartość zmiany inklinacji magnetycznej w Radzyminie. Podobny odskok zanotowaliśmy także w pobliskiej Jabłonie, gdzie pomiar nasz był jednak wykonany w dość znacznej odległości od punktu „Zdjęcia“ prof. K a l i n o w s k i e g o.

Wszystkie znalezione na zbadanym obszarze wartości, zredukowane do epoki 1946,5, zostały przez nas naniesione na mapę inklinacji magnetycznej znajdującą się w załączeniu, za tekstem zestawień tabelarycznych. Na mapie podano pozycje punktów pomiarowych oznaczając je numerami identycznymi z kolejnymi numerami obserwacji. Punkty, w których pomiar wykonany był kilkakrotnie, otrzymały na mapie numer pierwszego wykonanego na nich pomiaru. Obok numeru, przy każdym punkcie podana została odnośna wartość inklinacji magnetycznej, przy czym zaniechano podawania pełnych stopni, ograniczając się do samych tylko minut, stopnie bowiem łatwe są do odczytania z odpowiednich sąsiadujących izolinii inklinacji. Te ostatnie poprowadzono w odstępach 5',0 (linie grube) i 2',5 (linie cienkie).

Inklinacja nie jest najsposobniejszym elementem ziemskiego pola magnetycznego dla celów interpretacji. Rozpatrywać ją należy w związku ze składową pionową, łącznie z którą użyta być winna dla określenia składowej poziomej, elementu bardzo ważnego dla interpretacji otrzymanych wyników. Nim jednak obfitszy niż obecnie materiał obserwacyjny zezwoli na takie opracowanie, ograniczymy się do rozpatrzenia samych tylko anomalij inklinacji.

Aby je dla interesującego nas obszaru obliczyć, niezbędnym było przyjęcie określonego pola normalnego inklinacji. Ponieważ nie dysponujemy żadnym odpowiednim opracowaniem normalnego pola magnetycznego na obszarze naszego kraju dla epoki dostatecznie nam bliskiej, przyjęliśmy z konieczności za normalne, pole przebiegające równoleżnikowo. Porównanie opracowań N i p p o l d t a (13) z nowszymi danymi B a r t e l s a (dostępne były nam one niestety tylko w skróconej formie, w jakiej podali je D'A n s i L a x w „Taschenbuch f. Phys. u. Chem., p. 1280, Berlin, 1943), zdaje się jednak wskazywać, iż w obecnej epoce założenie nasze zbyt od rzeczywistości nie odbiega.

Przyjęte przez nas pole normalne inklinacji magnetycznej oparte jest na następujących danych liczbowych, ważnych dla epoki 1946,5:

Szerokość geograficzna	Inklinacja normalna
φ	$I_{1946,5}$
51°30'	66°38',9
45	49,9
52 00	67 00,8
15	11,8
30	22,8
45	33,7
53 00	34,6

Liczby te wyprowadzone zostały przy założeniu dla punktu Kielce anomalii równej zeru oraz normalnego południkowego gradientu inklinacji $+0',73/1$ minutę szerokości geograficznej. Gradient taki wynika z pomiarów naszych wykonanych w 1946 r. w zachodnich, magnetycznie spokojnych częściach naszego kraju.

Obliczone względem wyżej zdefiniowanego pola normalnego anomalie inklinacji magnetycznej naniesione zostały na drugą z map umieszczonych w załączeniu. Na mapie tej poprowadzono linie równych anomalii również co $5',0$ (linie grube) i co $2',5$ (linie cienkie).

Główne rysy znalezionej przez nas obrazu anomalii inklinacji magnetycznej na obszarze zbadanym są następujące:

Na wschodzie obszaru rozciąga się silna anomalia dodatnia inklinacji, skomplikowana w szczegółach, o ogólnym podłużnym kształcie i równoleżnikowym przebiegu. Rozpoczyna się ona na zachód od Warszawy w rejonie Błonia i ciągnie się na wschód z nieznaczną tendencją ku ESE. Jej oś przebiega przez Raszyn, Powsin, ku okolicom Świdra i Woli Karczewskiej, gdzie anomalia ta osiąga maksymalne wartości około $+40'$. Dalej na wschód oś anomalii przebiega przez Kołbiel ku Latowiczowi, w ogólnym kierunku na Łuków.

Północ zbadanego obszaru zajmują również anomalie dodatnie. Anomalie te osiągają szczególnie wysokie wartości na północ od Płońska i Drobina na arkuszach 1:100.000 Ciechanów i Raciąż. Stwierdzono tam całą strefę silnie wzrastających magnetycznych wyżek, ciągnącą się szerokim łukiem od okolic Koziczyna i Opinogóry w Ciechanowskim przez Sochocin, Płońsk i Bodzanów ku okolicom Płocka. Po wewnętrznej, północno-zachodniej stronie tego łuku rozciąga się obszar nadwyżek inklinacji, gdzie anomalie tego elementu osiągają wartość około $+25'$ — $+30'$.

Oba wymienione obszary anomalii dodatnich przedzielone są wyraźną strefą względnych niedoborów inklinacji, w której znajdujemy bądź niewielkie anomalie dodatnie, bądź nawet niewielkie anomalie ujemne. Strefa ta ma postać obszernej zatoki, głęboko wcinającej się na północny-wschód ku Pruskiemu Mazowszu, dzieląc dodatnie anomalie położone na północy i wschodzie na dwa omówione wyżej obszary nadwyżek inklinacji. Oś tej strefy biegnie z północnego wschodu od okolic Pułtuska, stopniowo się pogłębiając ku południo-zachodowi, przez okolice Nasielska i Zakroczymia. W rejonie Wyszogrodu i ujścia Bzury anomalie inklinacji tworzą płaskie i zamknięte regionalne minimum, wypełniające się w okolicach na północ od Łowicza.

Stwierdzenie w głębokim podłożu południowo-zachodniego obrzeżenia niecki mazowieckiej bardzo wyraźnego rozczłonkowania na wyżej wymienione trzy duże jednostki, charakteryzujące się różnym stopniem magnetycznej aktywności, stanowi główny wynik niniejszej pracy.



LITERATURA

- (1) B o c k R. — Praxis der magnetischen Messungen, Berlin, 1942.
- (2) D o r s e y N. E. — The Theory of the Earth Inductor as an Inclinator, Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity, XVIII, p. 1, 1913.
- (3) E d e l m a n n — Th. — Phys. Ztsch, 1906, p. 113
- (4) E d e l m a n n M. — Saiten-Galvanometer, Saiten-Elektrometer etc., München (b. roku wyd.).
- (5) E g e d a l J. — The determination of the magn. inclination with an earth-inductor, Terr. Magn., XLII, p. 367, 1937.
- (6) H u t t. — Die Bestimmung der magnetischen Neigung, Brandenburg 1874.
- (7) „ Die indirekten methoden zur Bestimmung der magnetischen Neigung, Brandenburg, 1884.
- (8) K a l i n o w s k i S. — Levé magnétique de la Pologne, Prace Obserwatorium Magnetycznego w Świdrze, Nr 5, Warszawa 1933.
- (9) L a m o n t J. — Handbuch des Erdmagnetismus, Berlin 1849.
- (10) L e y s t — Über Nadelinklinatorien, St. Petersburg, 1887.
- (11) L u t z C. W. — Neuerungen am Saitengalvanometer, Ztsch. f. Instr., 60, p. 252, 1940.
- (12) M e i s s e r O. — Praktische Geophysik, Dresden, 1943.
- (13) N i p p o l d t A. — Karten der Verteilung des Erdmagnetismus und seiner örtlichen Störungen in Europa, Veröff. d. preuss. met. Inst., nr 354, Abh. Bd. VIII, nr 11, Arch. d. Erdmagn., Hf. 6, Berlin, 1927:
- (14) S c h a p e r — Über die Bestimmung der magnetischen Inklination mittelst Erdinduktor und Telephon, Met. Ztsch., III, p. 71.
- (15) S c h e r i n g K. — Magnetische Inklination und allgemeine Theorie des Erdinduktors, Nachr. d. Ges. d. Wiss. in Göttingen, nr 129, 1882.
- (16) S c h m i d t A. — Magnetische Karten von Norddeutschland für 1909, Veröff. d. preuss. met. Inst., nr 217, Abh. Bd. III, nr 4, Berlin, 1910.
- (17) S c h m i d t A. — Die magnetische Vermessung I. Ordnung des Königreichs Preussen 1898 bis 1903 nach den Beobachtungen von M. Eschenhagen und J. Edler, Veröff. d. preuss. met. Inst., nr 276, Abh. Bd. IV, nr 12, Berlin 1914.
- (18) V e n s k e O. — Eine Ergänzung zum Tesdorpf'schen magnetischen Reise-Theodoliten, Tätigkeitsbericht d. preuss. met. Inst., 1920—23, p. 96, Berlin 1924.
- (19) V e s t i n e E. H., — The reduction of magnetic observations to epoch, Terr. Magn., XLVII, p. 97, 1942.
- (20) W e b e r W., — Über die Anwendung der magnetischen Induktion auf Messung der Inklination, Göttingen, 1853.

SZCZEGÓLOWE WYNIKI POMIARÓW INKLINACJI MAGNETYCZNEJ
WYKONANYCH W 1946 ROKU.

Nr	Nazwa punktu	φ	λ	Data 1946	Czas (T. U.)	$I_{obs.}$	$I_{1946,5}$	Uwagi
39 — 29 G o s t y n i n								
131	Żychlin	52°15,13	19°38,28	18.9	8 ^h 42 ^m — 8 ^h 54 ^m	67°18,9	67°11,1	J.S.
132	Kurów	16,91	33,82	„	9 42 — 9 54	19,0	12,4	„
130	Model	17,42	42,80	„	7 38 — 7 52	20,2	14,5	„
133	Muchnice Nowe	18,32	26,77	„	10 42 — 11 00	17,9	12,6	„
139	Helenów	19,23	37,35	19.9	8 52 — 9 14	18,8	15,8	„
129	Lwówek	20,28	46,58	18.9	6 30 — 6 44	24,5	19,6	„
134	Sierakówek	21,82	25,43	„	12 28 — 12 48	23,8	16,0	„
138	Waliszew	22,38	40,07	19.9	7 30 — 7 56	22,6	19,9	„
137	Gąbin	24,10	44,84	„	6 23 — 6 37	25,1	23,1	„
120	Zofiówka	25,54	41,17	16.9	16 08 — 16 20	18,2	22,2	„
135	Gostynin	26,22	27,19	18.9	13 42 — 13 56	26,2	17,9	„
136	Wola Łącka	27,28	34,20	„	14 52 — 15 14	26,9	20,2	„
119	Łąck	27,78	37,61	16.9	15 18 — 15 36	19,0	22,0	„
117	Dobrzyków	28,38	45,00	„	11 52 — 12 10	25,6	27,6	„
38 — 29 P ł o c k								
118	Budki Ciechomskie	52°30,55	19°39,44	16.9	14 ^h 18 ^m — 14 ^h 34 ^m	67°21,0	67°24,5	J.S.
201	Cekanowo	31,19	48,29	12.10	8 59 — 9 14	32,9	32,8	„
202	Podolszyce	32,38	43,65	„	9 51 — 10 04	29,6	29,4	„
245	Parowa	33,52	39,32	19.10	8 25 — 8 40	29,6	30,3	„
220	Niegłosy	34,32	42,60	16.10	8 00 — 8 34	32,4	32,6	„
203	Rogozino	34,36	47,10	12.10	10 54 — 11 12	36,6	36,4	„
246	Brwilno Górne	34,43	35,58	19.10	9 25 — 9 38	24,8	25,6	„
247	Murzynowo	35,03	31,62	„	10 32 — 10 41	21,6	23,0	„
221	Goślice	36,39	36,73	16.10	9 11 — 9 39	39,7	39,0	„
251	Srebrna	36,53	46,90	19.10	15 38 — 15 48	28,2	29,7	„
248	Rokicie	37,03	27,81	„	11 24 — 11 37	23,5	24,9	„
250	Dobrzyń	38,45	20,22	„	14 13 — 14 36	21,2	22,8	„
249	Kamienica	39,14	23,70	„	13 19 — 13 34	22,0	23,8	„
222	Bielsk	39,83	46,92	16.10	10 21 — 10 43	42,6	42,4	„
40 — 30 Ł o w i e z								
127	Kompina	52°08,45	20°03,88	17.9	13 ^h 13 ^m — 13 ^h 25 ^m	67°13,8	67°13,3	J.S.
126	Dębsk	10,45	08,22	„	12 21 — 12 37	16,0	15,8	„
128	Czaplinek	11,81	03,37	„	14 15 — 14 29	12,4	12,1	„
141	Mastki	12,38	19°54,35	20.9	7 53 — 8 14	10,0	9,1	„
125	Rozlazłów	13,88	20°13,29	17.9	11 21 — 11 39	16,4	16,3	„
110	Rybno	14,53	06,62	15.9	11 00 — 11 14	12,0	14,2	„

Nr	Nazwa punktu	φ	λ	Data 1946	Czas (T. U.)	$I_{obs.}$	$I_{1946,5}$	Uwagi
39 — 30 W y s z o g r ó d								
109	Zygmuntówka . . .	52°15,39	20°09,10	15.9	10 ^h 08 ^m — 10 ^h 24 ^m	67°13,3	67°15,0	J.S.
111	Wejsce	15,70	19°58,16	„	12 57 — 13 16	10,6	12,6	„
140	Kiernozia	16,56	52,32	20.9	6 54 — 7 08	16,3	14,8	„
124	Giżyce	17,34	20°05,53	17.9	9 53 — 10 07	14,9	14,6	„
106	Młodzieszyn . . .	18,00	11,28	15.9	6 57 — 7 20	10,9	12,2	„
112	Wszeliwy	18,25	19°57,41	„	14 16 — 14 36	12,6	14,9	„
107	1056 39	19,75	20°13,10	„	8 02 — 8 18	11,9	13,0	„
122	Rów	20,65	01,96	17.9	7 57 — 8 13	15,8	15,8	„
113	Czyżew	21,46	19°50,63	15.9	15 20 — 15 40	18,0	20,7	„
121	Słubice	22,11	56,58	17.9	6 46 — 7 03	19,5	19,8	„
123	Łady	22,44	20°05,28	„	8 51 — 9 05	15,9	15,7	„
108	ujście Bzury . . .	22,59	12,50	15.9	9 00 — 9 14	12,2	13,5	„
193	Wyszogród	23,78	12,71	11.10	7 15 — 7 32	14,5	15,0	„
114	Nowe Budy	23,81	19°52,26	16.9	6 38 — 6 56	21,5	23,4	„
192	Czerwińsk	24,11	20°18,38	11.10	6 20 — 6 37	13,9	14,6	„
194	Wilczkowo	24,75	08,17	„	9 37 — 9 53	16,2	16,7	„
195	Podgórze	25,16	03,27	„	10 41 — 10 54	19,2	19,8	„
116	Życk Polski	25,21	19°56,67	16.9	9 06 — 9 26	22,1	22,6	„
212	Garwolewo	26,20	20°16,47	14.10	7 11 — 7 27	17,8	18,2	„
207	Gródkowo	26,37	11,73	13.10	10 56 — 11 09	20,0	19,7	„
115	Wiączemin	27,08	19°53,77	16.9	7 52 — 8 08	25,3	26,3	„
196	Mała Wieś	27,62	20°06,14	11.10	11 44 — 12 01	23,8	24,8	„
197	Cieśle	28,09	00,13	„	13 22 — 13 41	26,0	27,2	„
208	Główczyn	28,76	11,27	13.10	12 00 — 12 25	25,4	25,6	„
200	Borowice	29,75	19°53,89	12.10	7 54 — 8 14	31,3	31,4	„
198	Bodzanów	29,76	20°02,67	11.10	14 25 — 14 41	32,0	33,1	„
38 — 30 D r o b i n								
199	Krawięczyn	52°30,23	19°59,17	12.10	7 ^h 01 ^m — 7 ^h 15 ^m	67°34,4	67°35,1	J.S.
213	Nacpolsk	30,54	20°15,38	14.10	8 36 — 8 54	30,9	30,0	„
209	Krubice	31,24	09 09	13.10	13 14 — 13 27	35,0	35,6	„
214	Troski	33,05	19,39	14.10	9 38 — 9 54	36,4	36,0	„
206	Rogowo	33,14	06,56	12.10	15 03 — 15 20	42,2	43,0	„
205	Golanki Dln.	33,39	20°00,00	„	13 50 — 14 17	41,7	41,6	„
204	Radzanowo	34,44	19°54,00	„	12 00 — 12 20	41,7	41,9	„
219	Kucice	34,69	20°13,85	14.10	15 32 — 15 44	42,6	43,6	„
210	Nowa Wieś	35,72	06,28	13.10	14 42 — 14 54	43,0	44,0	„
227	Ciołkowo	36,37	19°53,37	16.10	15 29 — 15 41	42,0	43,1	„
217	Ilinek	37,16	20°19,32	14.10	13 41 — 13 57	42,5	43,4	„
218	Stierzążnia	37,68	13,46	„	14 34 — 14 46	44,6	45,7	„
226	Starożreby	38,05	19°59,88	16.10	14 38 — 14 51	43,6	44,7	„
211	Góra	38,70	20°05,81	13.10	15 32 — 15 48	47,5	48,8	„

Nr	Nazwa punktu	φ	λ	Data 1946	Czas (T. U.)	$I_{obs.}$	$I_{1946,5}$	Uwagi
38 — 30 D r o b i n (dokończenie)								
225	Rogotworsk . . .	52°41,54	20°03,07	16.10	13 ^h 33 ^m — 13 ^h 52 ^m	67°47,5	67°48,6	J.S.
223	Psary	41,92	19°53,99	„	11 54 — 12 08	49,0	49,4	„
236	Mystkowo . . .	42,35	20°13,03	17.10	15 31 — 15 48	51,8	53,7	„
235	Gralewo	43,00	07,14	„	14 36 — 14 50	48,4	50,2	„
224	Swierczynek . .	43,84	19°58,46	16.10	12 39 — 12 53	51,2	51,9	„
37 — 30 R a c i a ż								
234	Karsy	52°45,51	20°03,13	17.10	13 ^h 21 ^m — 13 ^h 36 ^m	67°53,8	67°55,3	J.S.
230	Dziektarzewo .	45,78	19,97	„	9 12 — 9 26	52,6	53,5	„
237	Dramino	46,15	13,73	18.10	8 29 — 8 43	57,8	59,0	„
233	Raciąż—Zawoda*	47,23	07,71	17,10	12 28 — 12 42	57,9	59,2	„
232	Krajkowo . . .	48,43	11,62	„	11 43 — 11 55	68°00,5	68°01,6	„
231	Glinojec	49,06	17,00	„	10 08 — 10 19	02,0	02,9	„
41 — 31 M s z c z o n ó w								
55	Tarczyn	51°58,95	20°49,71	31.8	13 ^h 51 ^m — 14 ^h 12 ^m	67°21,2	67°20,5	T.O.
40 — 31 Ż y r a r d ó w								
98	Radziejowice .	52°00,38	20°34,46	5.9	14 ^h 00 ^m — 14 ^h 14 ^m	67°21,2	67°22,2	T.O.
99	Sięstrzeń . . .	03,37	43,58	„	14 56 — 15 10	24,3	25,0	„
97	Kozłowice . . .	04,63	24,93	„	12 40 — 12 58	22,6	22,9	„
143	Jaktorów	05,42	32,26	25.9	7 08 — 7 26	26,8	25,3	J.S.
54	Zaborów	06,97	46,88	31.8	11 26 — 11 42	35,1	33,3	T.O.
142	Baranów	07,45	28,61	25.9	4 50 — 5 10	25,8	25,4	J.S.
53	Podkowa Leśna.	08,02	42,42	31.8	6 11 — 6 33	31,1	34,4	T.O.
96	Maurycew . . .	08,04	21,04	5.9	11 32 — 11 48	21,6	21,7	„
95	Teresin *	12,05	24,72	„	10 10 — 10 26	20,9	20,5	„
94	Nowa Wieś . . .	12,11	32,75	„	9 04 — 9 20	26,6	25,6	„
92	Ożarów *	12,40	48,26	„	6 40 — 6 58	36,8	37,8	„
178	Żaboklik	13,21	21,16	1.10	14 16 — 14 36	20,8	17,4	J.S.
93	Pilaszków . . .	13,54	41,72	5.9	8 04 — 8 18	34,2	33,7	T.O.
39 — 31 M o d l i n								
172	Zielonki	52°15,11	20°49,46	1.10	7 ^h 48 ^m — 8 ^h 04 ^m	67°40,1	67°37,4	J.S.
173	Borzęcin Duży .	15,20	43,79	„	8 47 — 9 04	37,1	33,2	„
175	Wilkowa Wieś .	15,51	32,78	„	10 48 — 11 04	27,0	24,5	„
177	Strzyżew	15,65	21,53	„	13 10 — 13 24	19,0	16,5	„
174	Zaborówek . . .	15,92	38,28	„	9 42 — 9 56	31,4	28,9	„
176	Kampinos	16,09	27,77	„	12 08 — 12 20	22,4	19,6	„

Nr	Nazwa punktu	φ	λ	Data 1946	Czas (T. U.)	$I_{\text{obs.}}$	$I_{1946,5}$	Uwagi
39 — 31 M o d l i n (dokończenie)								
89	Palmiry . . .	52°21,73	20°46,04	30.8	11 ^h 31 ^m — 11 ^h 52 ^m	67°26,9	67°28,7	W.T.
191	Chociszewo . . .	25,20	23,26	10.10	15 25 — 15 39	16,6	17,3	J.S.
90	Kazuń . . .	25,27	41,53	30.8	13 20 — 13 40	21,3	24,3	W.T.
190	Goławin . . .	26,01	27,48	10.10	14 31 — 14 44	18,8	19,2	J.S.
149	Gałachy . . .	26,16	38,70	26.9	14 58 — 15 12	25,8	24,8	„
189	Emolinek . . .	26,72	31,48	10.10	13 41 — 13 56	21,3	21,6	„
151	Ostrzykowitzna . . .	26,76	34,92	27.9	5 42 — 5 52	22,6	22,9	„
148	Modlin . . .	27,27	42,75	26.9	14 06 — 14 20	26,4	25,4	„
150	Kroczewo . . .	28,89	33,33	„	16 22 — 16 36	23,7	23,1	„
264	Kikoły . . .	29,18	48,01	26.10	9 05 — 9 26	32,8	33,1	„
252	Kosewko . . .	29,52	42,80	20.10	9 20 — 9 35	24,4	25,2	„
38 — 31 P ł o ń s k								
215	Strzembowo . . .	52°30,24	20°23,57	14.10	10 ^h 41 ^m — 10 ^h 56 ^m	67°28,4	67°28,1	J.S.
265	Cegielnia Psucka . . .	31,96	47,27	26.10	10 50 — 11 00	31,6	31,2	„
152	Przyborowice . . .	33,02	30,51	27.9	7 12 — 7 29	30,4	28,0	„
153	Wrona . . .	33,54	34,77	„	8 08 — 8 20	31,2	27,4	„
154	Borkowo . . .	33,70	40,11	„	8 57 — 9 09	30,6	26,9	„
266	Siennica . . .	34,76	47,92	26.10	11 50 — 12 01	31,7	30,9	„
155	Dalanówek . . .	35,38	27,34	27.9	10 54 — 11 06	36,5	35,0	„
216	Skrzynki . . .	35,52	21,42	14.10	11 48 — 12 15	42,2	42,2	„
188	Nasielsk . . .	35,84	48,71	29.9	15 21 — 15 37	35,0	31,1	„
156	Dalanówko . . .	36,45	26,71	27.9	11 40 — 11 54	38,9	37,6	„
157	Strachowo . . .	37,50	26,58	„	12 24 — 12 36	40,6	39,0	T.O.
267	Latonice — Swierkowo . . .	37,96	42,44	26.10	12 51 — 13 01	32,1	31,7	J.S.
158	Kołożab . . .	39,25	30,08	27.9	13 10 — 13 26	41,3	39,4	„
159	Nowe Miasto . . .	39,66	37,07	„	14 08 — 14 24	38,1	36,2	„
268	„ „ . . .	„	„	26.10	14 00 — 14 14	34,9	35,6	„
							35,9	„
228	Ćwiklinek . . .	40,65	22,46	17.10	7 37 — 7 52	46,6	47,8	„
160	Karolinowo . . .	41,64	36,25	27.9	14 58 — 15 13	40,4	38,4	„
244	Ciemniewo . . .	42,48	29,64	18.10	15 30 — 15 45	40,5	42,3	„
229	Dłużniewo . . .	42,68	20,53	17.10	8 30 — 8 40	49,4	50,3	„
255	Koźniewo Średnie . . .	44,11	44,82	24.10	14 01 — 14 22	44,1	44,4	„
37 — 31 C i e c h a n ó w								
243	Ojrzeń . . .	52°45,75	20°32,62	18.10	14 ^h 45 ^m — 15 ^h 03 ^m	67°42,7	67°44,5	J.S.
239	Młock . . .	47,81	28,18	„	10 57 — 11 17	54,8	55,9	„
242	Kryzpy . . .	48,53	36,57	„	13 58 — 14 10	44,2	45,8	„
238	Huta . . .	49,94	23,35	„	10 05 — 10 16	68°06,4	68°07,5	„

Nr	Nazwa punktu	φ	λ	Data 1946	Czas (T. U.)	$I_{obs.}$	$I_{1946.5}$	Uwagi
37 — 31 C i e c h a n ó w (dokończenie)								
240	Gumowo Szlacheckie . . .	52°50,32	20°30,06	18.10	11 ^h 56 ^m — 12 ^h 09 ^m	67°57,2	67°58,4	J.S.
170	Nasierowo. . .	51,03	45,64	29.9	11 18 — 11 34	49,1	43,0	„
241	Niechodzin . . .	51,86	35,47	18.10	12 57 — 13 07	56,6	58,1	„
161	Chrzanówek . . .	52,91	40,11	28.9	6 44 — 6 58	58,5	54,7	„
162	Opinogóra 1 . . .	54,23	42,92	„	7 40 — 7 56	54,8	51,8	„
164	„ 2 . . .	54,70	43,50	„	10 18 — 10 38	58,3	52,5	„
169	Kalisz	55,76	38,23	„	16 00 — 16 16	68,07,8	68°06,5	„
163	Dzbonie	55,81	42,10	„	8 52 — 9 16	02,1	67°58,5	„
166	Wola Wierzbowska	57,82	45,35	„	13 02 — 13 16	67°58,5	67°54,3	„
168	Szulmierz	58,02	39,32	„	15 07 — 15 24	68°10,7	68°05,2	„
165	Turowo	58,75	49,05	„	11 38 — 11 54	67°53,0	67°47,4	„
167	Koziczyn	58,92	41,17	„	14 11 — 14 25	68°12,9	68°06,4	„
42 — 32 B i a ł o b r z e g i								
11	Głowaczew * . . .	51°37,84	21°19,14	22.7	12 ^h 09 ^m — 12 ^h 29 ^m	66°53,9	66°53,9	T.O.
12	Nowa Wola	41,86	14,61	„	13 47 — 14 01	56,1	56,1	„
41 — 32 G r ó j e c								
10	Warka	51°46,32	21°12,01	21.7	18 ^h 02 ^m — 18 ^h 20 ^m	66°59,4	67°00,8	T.O.
15	Jasieniec *	49,27	20 56,27	23.7	17 14 — 17 34	67 04,5	04,9	„
273	Grójec	52,32	20 52,35	30.10	9 43 — 10 05	10,1	09,5	J.S.
9	Konary	53,21	21 13,54	21.7	10 17 — 10 37	17,6	17,3	T.O.
274	Sławków	53,51	20 57,48	30.10	10 59 — 11 15	16,4	16,0	J.S.
275	Chynów	54,12	21 04,78	„	12 43 — 12 59	22,4	22,3	„
76	Sobienie Jeziory	56,25	21 18,17	19.8	12 42 — 13 02	29,4	30,2	W.T.
56	Rembertów	57,53	20 50,47	31.8	14 58 — 15 16	18,8	18,7	„
40 — 32 W a r s z a w a P o ł u d n i e								
8	Kąty *	52°00,12	21°10,65	21.7	7 ^h 46 ^m — 8 ^h 07 ^m	67°28,9	67°29,3	T.O.
100	Karolin	02,43	20 54,26	7.9	14 11 — 14 40	27,9	26,4	J.S.
102	Otwock	03,24	21 16,95	9.9	11 50 — 12 18	34,0	36,0	„
7	Klarysew *	06,04	21 06,54	21.7	5 40 — 6 03	38,6	39,5	T.O.
101	Józefów	07,26	21 12,54	9.9	9 48 — 10 20	46,2	46,9	J.S.
72	Teklin	07,87	21 19,40	14.8	7 36 — 8 01	45,0	41,8	W.T.
6	Natolin	08,46	21 05,46	21.7	4 08 — 4 30	42,5	44,4	T.O.
105	Raszyn	09,37	20 55,35	14.9	14 05 — 14 22	37,8	39,4	J.S.
17	Miedzeszyn	10,64	21 09,07	25.7	9 54 — 10 14	43,7	44,4	T.O.
104	Zbarż	11,21	20 59,52	13.9	15 14 — 15 38	40,2	42,1	J.S.
16	Saska Kępa	13,50	21 04,76	25.7	8 16 — 8 40	38,8	39,2	T.O.
82	„ „	„	„	21.8	17 02 — 17 17	40,3	42,3	„
							40,8	
25	Miłosna	13,81	21 15,02	31.7	5 42 — 5 58	41,2	41,0	„

Nr	Nazwa punktu	φ	λ	Data 1946	Czas (T. U.)	$I_{obs.}$	$I_{1946,5}$	Uwagi
41 — 33 Garwolin								
67	Michalin	51°47,82	21°46,77	4.9	11 ^h 34 ^m — 11 ^h 50 ^m	67°10,0	67°08,3	T.O.
71	Skurcza	48,56	25,35	„	16 42 — 16 56	09,2	09,7	„
77	Cyganówka . . .	52,05	27,00	19.8	16 18 — 16 39	20,6	21,4	W.T.
75	Sulbiny	52,23	38,84	14.8	13 38 — 14 02	22,3	23,1	„
59	Jagodne	55,86	35,52	3.9	13 58 — 14 16	31,1	32,6	T.O.
62	Borowie	57,18	46,50	4.9	5 44 — 6 00	26,3	28,5	„
74	Starowola . . .	58,36	42,07	14.8	11 47 — 12 05	36,8	32,2	W.T.
73	Puznówka . . .	58,92	33,61	„	9 32 — 9 57	38,4	37,4	„
40 — 33 Mińsk Mazowiecki								
30	Latowicz	52°01,85	21°45,58	31.7	14 ^h 56 ^m — 15 ^h 18 ^m	67°44,1	67°43,3	T.O.
58	Celestynów . . *	03,46	24,02	3.9	11 18 — 11 38	35,3	35,7	„
23	Podgórzno . . .	04,53	32,64	28.7	9 38 — 9 58	41,9	37,9	„
31	„	„	„	31.7	16 44 — 17 00	39,4	38,9	„
							38,4	„
29	Kuflaw	05,46	48,60	„	13 16 — 13 38	48,6	47,3	„
22	Wólka Karczew- ska	07,75	23,34	28.7	8 04 — 8 24	47,4	43,9	„
24	Huta Mińska . .	09,22	34,18	„	11 48 — 12 06	45,3	41,3	„
28	Mrozy *	09,50	48,30	31.7	11 40 — 12 05	38,4	36,6	„
26	Dębe Wielkie *	12,23	25,27	„	7 13 — 7 41	44,0	43,0	„
81	Arynów	12,59	32,46	21.8	15 21 — 15 38	37,8	39,4	„
27	Falbogi	14,89	49,71	31.7	9 24 — 9 54	36,5	34,1	„
39 — 33 Tłuszcz								
80	Stanisławów . .	52°17,70	21°33,21	21.8	13 ^h 53 ^m — 14 ^h 11 ^m	67°30,2	67°31,3	T.O.
271	Tłuszcz *	25,97	26,53	29.10	11 30 — 11 45	30,2	29,9	J.S.
272	„	„	„	„	11 56 — 12 14	29,5	29,3	„
							29,6	„
41 — 34 Żelechów								
66	Jarczew	51°48,86	21°57,35	4.9	10 ^h 22 ^m — 10 ^h 36 ^m	67°04,8	67°02,4	T.O.
65	Ciechomin . . .	52,59	56,84	„	9 24 — 9 38	04,5	03,3	„
60	Gościewicz . . .	56,19	50,86	3.9	16 02 — 16 18	23,0	23,8	„
61	Prawda	56,80	55,58	„	17 12 — 17 26	26,7	27,4	„
63	Iwowe	59,52	51,75	4.9	6 50 — 7 08	39,4	39,9	„
40 — 34 Siedlce								
64	Seroczyn	52°00,79	21°56,10	4.9	8 ^h 03 ^m — 8 ^h 18 ^m	67°43,3	67°44,0	T.O.

Nr	Nazwa punktu	φ	λ	Data 1946	Czas (T. U.)	$I_{\text{obs.}}$	$I_{1946,5}$	Uwagi
48 — 26 R a c i b ó r z								
179	Racibórz . . .	50°05'00	18°11'57	5.10	6 ^h 30 ^m — 6 ^h 49 ^m	65°36,8	65°37,8	J.S.
180	" . . .	"	"	"	7 01 — 7 24	36,3	37,4	"
							37,6	
46 — 28 W o ź n i k i								
181	Poraj . . . *	50°40'97	19°13'34	3.10	12 ^h 34 ^m — 12 ^h 54 ^m	66°11,0	66°13,0	J.S.
48 — 30 K r a k ó w								
182	Kraków . . . "	50°03'75	19°57'67	7.10	8 ^h 22 ^m — 8 ^h 42 ^m	65°36,6	65°36,3	J.S.
183	" . . .	"	"	"	8 56 — 9 08	36,9	36,2	"
							36,2	
45 — 31 K i e l c e								
184	Kielce . . . *	50°52'10	20°36'31	8.10	13 ^h 56 ^m — 14 ^h 16 ^m	66°10,0	66°11,3	J.S.
185	" . . .	"	"	"	14 26 — 14 41	09,8	11,1	"
							11,2	

S U M M A R Y

This paper presents the results of the magnetic inclination survey which was made during 1946 in 275 stations of the Mazowsze area. The earth-inductor „Askania“ with Edelmann's string galvanometer was used to this purpose. The results of the survey are given in the tables enclosed below. There are given observed inclination values ($I_{\text{obs.}}$) and values reduced to the epoch ($I_{1946,5}$). Two maps showing contours of inclination and contours of its anomaly accompany this paper.

większej" względem powierzchni systemu (2). Kolejne pochodne normalne potencjału $W(x, y, z)$ określają przy pomocy operatora $\frac{\partial}{\partial n}$

$$\frac{\partial}{\partial n} = \lambda \frac{\partial}{\partial x} + \mu \frac{\partial}{\partial y} + \nu \frac{\partial}{\partial z} \quad (3)$$

kolejno stosowanego odpowiednio (zarys 1). Będziemy w dalszym ciągu używać oznaczeń:

$$\frac{\partial^2 W}{\partial n^2}, \frac{\partial^3 W}{\partial n^3}, \frac{\partial^4 W}{\partial n^4} \quad (4)$$

TADEUSZ OLCZAK

POMIARY WAGĄ SKRĘCEN I PROBLEM WYZNACZENIA WYŻSZYCH POCHODNYCH NORMALNYCH ZEWNĘTRZNEGO POTENCJAŁU SIŁY CIĘŻKOŚCI

(z 2 figurami w tekście)

THE MEASUREMENTS WITH THE EÖTVÖS TORSION BALANCE AND THE PROBLEM OF DETERMINING THE HIGHER NORMAL DERIVATIVES OF THE EXTERNAL GRAVITY POTENTIAL

(with 2 figures in the text)

1. Niechaj $Oxyz$ będzie pewien dowolny prostokątny układ współrzędnych związany sztywno z Ziemią i niechaj $W(x, y, z)$ będzie potencjał ciężkości, tzn. suma potencjałów przyciągania newtonowskiego i siły odśrodkowej. Jak wiadomo, $W(x, y, z)$ w całej przestrzeni zewnątrz Ziemi spełnia równanie:

$$\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} = 2\omega^2 \quad (1)$$

gdzie ω jest szybkością kątową obrotu, przyczym aż do bardzo znacznych odległości od Ziemi⁴⁾ zarówno funkcja $W(x, y, z)$, jak i wszystkie jej pochodne są jednowartościowe, ciągłe i różniczkowalne.

Wiadomo również, iż krzywe pionu określone są w przestrzeni zewnętrznej jako ortogonalne trajektorje systemu powierzchni poziomu:

$$W(x, y, z) = \text{const.} \quad (2)$$

przy czym — znowu w całym zewnętrznym obszarze regularności potencjału ciężkości $W(x, y, z)$ — krzywe te przebiegają w sposób ciągły i posiadają analityczne krzywizny i skręcenia.

Obierzmy na krzywych pionu za dodatni ten zwrot, który wskazuje wzrastanie potencjału i oznaczmy przez $n(\lambda, \mu, \nu)$ kierunek stycznej do krzywej pionu, zorientowanej zgodnie z kierunkiem obranym na krzywej. W przyjętej ogólnie terminologii, jest to kierunek „normalnej we-

⁴⁾ Obszar regularności potencjału ciężkości $W(x, y, z)$ rozciągnąć można bezpiecznie aż do odległości, w którym przyciąganie newtonowskie jest zrównoważone siłą odśrodkową. „Graniczna“ powierzchnia poziomu o promieniu równikowym wynoszącym około 6,6 promienia Ziemi posiada osobliwość w postaci krawędzi wzdłuż równika: p. Laplace, *Méc. Cél.*, Livre III, Chap. VII, sect. 47; Helmer, *Theorien d. höh. Geodäsie*, II. Teil. p. 100; Pizzetti, *Principii d. teoria meccanica d. figura dei pianeti*, p. 19; W. D. Lambert, *Some Mechanical Curiosities connected with the Earth's Field of Force*, *Amer. Journ. of Science*, v. II p. 129, 1921.

wewnętrznej“ względem powierzchni systemu (2). Kolejne pochodne normalne potencjału $W(x, y, z)$ określamy przy pomocy operatora $\frac{\partial}{\partial n}$:

$$\frac{\partial}{\partial n} = \lambda \frac{\partial}{\partial x} + \mu \frac{\partial}{\partial y} + \nu \frac{\partial}{\partial z} \quad (3)$$

kolejno stosowanego odpowiednią ilość razy¹⁾. Będziemy w dalszym ciągu używali oznaczeń:

$$\frac{\partial W}{\partial n} = g, \quad \frac{\partial^2 W}{\partial n^2} = \frac{\partial g}{\partial n}, \quad \frac{\partial^3 W}{\partial n^3} = \frac{\partial^2 g}{\partial n^2}, \quad (4)$$

które uwidoczniają niezależność operacji (3) od obioru układu współrzędnych. Nie należy zapominać, iż wszystkie w ten sposób otrzymane pochodne (4) są pochodnymi zewnętrznego potencjału ciężkości wzdłuż normalnej wewnętrznej.

Jak widać z powyższego, pierwszą pochodną normalną $\frac{\partial W}{\partial n} = g(x, y, z)$ skalarnej funkcji $W(x, y, z)$ nazywać będziemy zwykłą pochodną tej funkcji wziętą w kierunku $n(\lambda, \mu, \nu)$ wyznaczonym przez krzywą pionu skierowaną ku wzrastającym wartościom potencjału. Pochodna normalna skalarnej funkcji $g(x, y, z)$, zdefiniowana podobnie w oparciu o ten sam kierunek nazywać się będzie drugą pochodną normalną $\frac{\partial^2 W}{\partial n^2}$ funkcji $W(x, y, z)$. Postępując w ten sposób dalej i stale obliczając pochodne wzdłuż krzywych pionu skierowanych „wewnętrznie“, otrzymuje się ciąg pochodnych zewnętrznego potencjału ciężkości, które nazywać będziemy poniżej krótko normalnymi pochodnymi tego potencjału.

Przekształćmy przy pomocy operatora (3) laplasjan figurujący po lewej stronie równania (1). Jest.

$$\frac{\partial W}{\partial x} = \lambda \frac{\partial W}{\partial n}, \quad \frac{\partial W}{\partial y} = \mu \frac{\partial W}{\partial n}, \quad \frac{\partial W}{\partial z} = \nu \frac{\partial W}{\partial n}$$

¹⁾ Podnosimy skalarny charakter powyższej definicji. Operator (3) daje się przedstawić w postaci iloczynu skalarnego:

$$\frac{\partial}{\partial n} = (\bar{i}\lambda + \bar{j}\mu + \bar{k}\nu) \cdot \left(\bar{i} \frac{\partial}{\partial x} + \bar{j} \frac{\partial}{\partial y} + \bar{k} \frac{\partial}{\partial z} \right) = \bar{s} \nabla$$

gdzie \bar{s} jest jednostkowym wektorem stycznym do pionu, skierowanym „wewnętrznie“, zaś ∇ jest operator H a m i l t o n a (nabla). Rachunek przy pomocy operatora skalarnego (3) ograniczony jest w ten sposób do samych tylko „natężeń“. Odnosząc teorię operatora skalarnego (3), por. M. L a g a l l y, Vektor-Rechnung, 2. Aufl., Leipzig, 1934, p. 169.

skąd:

$$\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} = \frac{\partial W}{\partial n} \frac{\partial \lambda}{\partial x} + \lambda \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial W}{\partial n} \right)$$

$$\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} = \frac{\partial W}{\partial n} \frac{\partial \mu}{\partial y} + \mu \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial W}{\partial n} \right)$$

$$\frac{\partial^2 W}{\partial z^2} = \frac{\partial W}{\partial n} \frac{\partial \nu}{\partial z} + \nu \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial W}{\partial n} \right)$$

sumując mamy:

$$\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} = \frac{\partial W}{\partial n} \left(\frac{\partial \lambda}{\partial x} + \frac{\partial \mu}{\partial y} + \frac{\partial \nu}{\partial z} \right) + \frac{\partial^2 W}{\partial n^2}.$$

Ale wiadomo z teorii powierzchni, iż jest:

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = - \left(\frac{\partial \nu}{\partial x} + \frac{\partial \mu}{\partial y} + \frac{\partial \nu}{\partial z} \right)$$

gdzie R_1 i R_2 są główne promienie krzywizny powierzchni. Wprowadzając t. zw. średnią krzywiznę powierzchni określoną wzorem:

$$\frac{1}{R_m} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

mamy ostatecznie:

$$\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 W}{\partial n^2} - \frac{2}{R_m} \frac{\partial W}{\partial n}$$

czyli wobec (1):

$$\frac{\partial^2 W}{\partial n^2} - \frac{2}{R_m} \frac{\partial W}{\partial n} = 2\omega^2. \quad (5)$$

Wzór powyższy po raz pierwszy podany był przez B r u n s a ¹⁾ i nosi jego imię. Jest on, jak widzimy, inną tylko formą zasadniczego równania (1), formą bardzo ważną, bo niezależną od odbioru prostokątnego układu współrzędnych. W formie (5) tego wzoru pokazuje się też od razu geometryczny sens równania (1), które przekształconym zostało w związek łączący obie pierwsze normalne pochodne potencjału ciężkości ze średnim promieniem krzywizny powierzchni poziomu.

Łatwo otrzymać dalsze tego typu związki. Najprościej jest różniczkować lewą stronę wzoru B r u n s a względem n . Otrzymujemy wówczas:

¹⁾ B r u n s, H., Die Figur der Erde, 1878; por. również P a c i P., Palermo Rend., VIII, p. 33, 1894.

$$R_m \frac{\partial^3 W}{\partial n^3} - 2 \frac{\partial^2 W}{\partial n^2} + \frac{2}{R_m} \frac{\partial R_m}{\partial n} \frac{\partial W}{\partial n} = 0. \quad (6)$$

Związki (5) i (6) dopuszczają łatwe wyznaczenie krzywizny średniej powierzchni poziomej i wszystkich jej normalnych pochodnych przez normalne pochodne potencjału ciężkości:

$$R_m = 2 \frac{\frac{\partial W}{\partial n}}{\frac{\partial^2 W}{\partial n^2} - 2 \omega^2}$$

$$\frac{\partial R_m}{\partial n} = \frac{2 \frac{\partial^3 W}{\partial n^3}}{\frac{\partial^2 W}{\partial n^2} - 2 \omega^2} - \frac{2 \frac{\partial W}{\partial n} \frac{\partial^3 W}{\partial n^3}}{\left(\frac{\partial^2 W}{\partial n^2} - 2 \omega^2 \right)^2} \quad (7)$$

2. Twierdzenie **B r u n s a** wraz z przedstawionymi powyżej jego konsekwencjami może służyć za przykład, jak istotnym jest stosowanie wyższych normalnych pochodnych potencjału ciężkości w teorii figury Ziemi. Wiadomo dobrze, iż w oparciu o system wzorów **G a u s s a** i **G r e e n a**, pochodne tego typu odgrywają fundamentalną rolę przy badaniach dotyczących wszelkich pól z jakimi mamy do czynienia w fizyce, stanowiąc proste i naturalne narzędzie rachunku.

W zakresie obchodzącym nas najbliżej i aby wymienić zastosowania najbardziej bezpośrednie, stwierdzić wypada, iż, przy użyciu rozwinięcia na szereg **T a y l o r a**, znajomość tych pochodnych rozwiązuje w sposób ostateczny sprawę redukcji pomiarów g do wspólnego poziomu w zewnętrznym polu ciężkości, uwalniając nas od konieczności przyjmowania do tego celu jakichkolwiek hipotez. Inna dziedzina ważnych zastosowań to grawimetria praktyczna, w której pochodne te — w sposób zupełnie analogiczny do natężenia siły ciężkości — użyte być mogą jako wskaźniki niejednorodności w rozkładzie mas wewnątrz skorupy ziemskiej. Jesteśmy w tej ostatniej dziedzinie świadkami wielkich, a ciągle wzrastających usług, jakie pomiary elementów ziemskiego pola ciężkości oddają geologii i górnictwu.

Rozpatrzmy tedy pokrótce jakie są metody mogące dostarczyć liczbowych wartości omawianych pochodnych.

Pomiary pierwszej pochodnej normalnej potencjału ciężkości, czyli poprostu pomiary natężenia siły ciężkości g stały się w czasach naszych najpowszechniejszą praktyką geodezyjną i geofizyczną. Są one wykony-

wane bądź przy pomocy wahadeł, bądź też — jeżeli idzie o pomiary różnic g , czyli o t. zw. pomiary względne — przy pomocy wielu odmian „grawimetrów“ najrozmaitszego typu. Budowa przyrządów osiągnęła w tej dziedzinie godne podziwu rezultaty, stawiając pomiary różnicowe g w rzędzie najdokładniejszych pomiarów fizycznych.

Zupełnie inaczej rzecz się ma z pomiarem drugiej normalnej pochodnej potencjału czyli pomiarem t. zw. wertykalnego gradientu ciężkości. Sprawa ta ma swoją długą i interesującą historię, sięgającą swymi początkami epoki *K a r t e z j u s z a i N e w t o n a*, historię, która wprawdzie odznacza się dużą ilością mniej lub więcej ciekawych pomysłów, która jednak jest charakterystycznie uboga w wyniki liczbowe.

W zadaniu eksperymentalnego wyznaczenia wertykalnego gradientu ciężkości pierwsze istotnie wartościowe i trwałe rezultaty naukowe osiągnięte zostały dopiero w 80-tych latach ubiegłego stulecia dzięki pracom dwóch profesorów fizyki, Filipa *J o l l y 'g o*¹⁾ w Monachium i *J. P. P o y n t i n g 'a*²⁾ w Manchester. Niezależnie od siebie i niemal równocześnie obaj ci uczeni podali i zrealizowali ideę wagi o podwójnych szalkach, zezwalającej mierzyć zmiany ciężaru ciał z wysokością.

Przyrząd *J o l l y — P o y n t i n g 'a*, będący w zasadzie precyzyjną wagą bardzo wysokiej czułości, zaopatrzoną w odpowiednio rozstawione szalki, natychmiast użytym został również do wyznaczenia stałej grawitacji. W porównaniu ze środkami, jakie stosowane były uprzednio do tego ostatniego celu, waga o podwójnych szalkach wykazywała wielkie zalety, to też przedsięwzięto i wykonano tą metodą szereg prac, których rezultaty do dziś nie utraciły swego znaczenia³⁾ Zaznaczymy, iż wyznaczenie stałej grawitacji przy pomocy wagi *J o l l y — P o y n t i n g 'a* połączone jest nieodłącznie z wyznaczeniem wertykalnego gradientu ciężkości.

Trudności techniczne eksperymentowania przy pomocy wagi o podwójnych szalkach są bardzo znaczne. Gdy dzięki pracom *B o y s 'a*

¹⁾ *J o l l y*, Ph. V., Anwendung der gewöhnlichen Wage zur Bestimmung der Abnahme der Schwere mit der Höhe, Abh. d. k. bayr. Akad. d. Wiss., Bd. 13, München, 1878.

²⁾ *P o y n t i n g*, J. H., On a method of using the balance with great delicacy and on its employment to determine the mean density of the earth, Proc. of the Roy. Soc. London, 1878, p. 2.

³⁾ Prócz wymienionych wyżej: *T h i e s e n*, Détermination de la variation de la pesanteur avec la hauteur, Trav. et Mém. d. Bureau Intern. de Poids et Mes., t. VII, 1890; *S c h e e l u. D i e s e l h o r s t*, Bestimmung der Änderung der Schwere mit der Höhe, Phys. Reichsanstalt, Wiss. Abh., 2, p. 185, 1895; *R i c h a r z u. K r i g a r - M e n z e l*, Bestimmung der Gravitationskonstante und der mittleren Dichtigkeit der Erde, Anhang zu den Abh. d. preuss. Akad. d. Wiss., Berlin, 1898.

i B r a u n'a okazało się, że stałą grawitacji wyznaczyć można z dużo większą dokładnością przy pomocy wagi skręceń, waga J o l l y — P o y n t i n g'a poszła na długi czas w zapomnienie. Próbowano w latach ostatnich do niej powrócić. W pomysłowych próbach sprzężenia bądź z libelą, bądź z wahadłem horyzontalnym wydają się tkwić duże możliwości¹⁾. Interesujące są również pomysły różnych autorów współczesnych, zalecających dla wyznaczenia wertykalnego gradientu ciężkości bądź zasadę wagi skręceń z poziomą osią obrotu, bądź też wahadło horyzontalne²⁾. Jak dotąd, pomysły te nie znalazły realizacji.

Z drugiej strony, wobec ogromnego postępu, jaki w ostatnim dziesięcioleciu dokonał się w dziedzinie budowy grawimetrów, t. j. przyrządów służących do pomiaru różnic natężenia siły ciężkości, okazało się możliwym otrzymywanie wartości wertykalnego gradientu ciężkości drogą pomiaru różnicy Δg między dwoma sąsiednimi punktami leżącymi w tym samym pionie³⁾. Istotnie, szereg takich pomiarów wykonano już w Stanach Zjednoczonych A. P., wykorzystując do tego celu kilka bardzo wysokich budowli⁴⁾. Tam, gdzie istnieje łatwość przeniesienia grawimetru w górę na wysokość kilkunastu lub kilkudziesięciu metrów, dokładne wyznaczenie wertykalnego gradientu ciężkości jest sprawą technicznie zupełnie prostą. Świadczą o tym ogłoszone niedawno wyniki amerykańskich wyznaczeń, których dokładność jest prawdopodobnie nawet nieco większą od dokładności, jaką przy końcu ubiegłego stulecia osiągnano przy pomocy wagi J o l l y — P o y n t i n g'a w warunkach laboratoryjnych znacznym nakładem czasu i pracy.

Obok metod eksperymentalnych, znane są również metody rachunkowe zezwalające obliczyć anomalie wertykalnego gradientu ciężkości na podstawie anomalii ciężkości. U fundamentów owych metod leży pewien sposób zastosowania anomalii ciężkości dla obliczenia odchyleń

¹⁾ S c h m e r w i t z, G., Z. f. Geoph., 7, p. 104, 1931; R e i s c h, S., Beitr. z. angew. Geoph., 4, p. 134, 1934.

²⁾ B e r r o t h, A., Z. f. Instr., 40 p. 210, 1920; H a a l c k, H., Beitr. z. angew. Geoph., 9, p. 107, 1941.

³⁾ W kierunku wyzyskania wysokich dokładności współczesnych grawimetrów dla celów wyznaczenia wertykalnego gradientu ciężkości idą np. uchwały Amerykańskiej Unii Geodezyjno-Geofizycznej. We wnioskach dla 7. Zebrania Ogólnego Unii Geodezyjno-Geofizycznej czytamy: „The Association of Geodesy calls attention to the known variability of vertical gradient of gravity and expresses the hope that it may be studied with the aid of recently developed sensitive gravimeters“, Programme provisoire de la 7. Assemblée Générale à Washington, Bull. Géod. Nr 62, 1939.

⁴⁾ H a m m e r, S., Investigation of the vertical gradient of gravity, Trans. of the American Geophysical Union, National Research Council, 1938, I, p. 74.

pionu, podany w 1928 r. przez V e n i n g M e i n e s z'a¹⁾ i szeroko obecnie rozpowszechniony. Analogiczne wzory dla interesującego nas przypadku anomalii wertykalnego gradientu ciężkości, podał pierwszy w 1929 r. N u m e r o w²⁾, a po nim szereg innych autorów³⁾. Wszystkie te wzory są jednak całkowite i wymagają rachunkowego uwzględnienia anomalii ciężkości w bardzo znacznym promieniu dokoła rozpatrywanego punktu.

Znikoma wielkość trzeciej pochodnej normalnej potencjału ciężkości czyni ją niedostępną pomiarowi. Nie było dotąd również prób wyznaczenia jej na drodze rachunkowej.

3. Obok wahadeł oraz innych przyrządów służących do pomiaru różnic natężenia ciężkości, w czasach ostatnich szeroko jest rozpowszechniona dla celów grawimetrycznej prospekcji waga skręceń. Przyrząd ten, którego różne cenne zalety rozpoznali jeszcze przed półtora stuleciem C a v e n d i s h i C o u l o m b, znalazł dzięki udoskonaleniom wprowadzonym doń przez R o l a n d a E ö t v ö s a nowe pole zastosowań.

Zanim jednak wagą skręceń E ö t v ö s a bliżej się zajmiemy, słów kilka należy poświęcić innemu tematowi ogólniejszej natury.

Definiując pochodne normalne potencjału ciężkości rozmyślnie nie przydaliśmy tym pojęciom znaczenia wektorów. Jest to w zgodzie ze skalarnym charakterem wszystkich rezultatów, jakie otrzymujemy przy pomiarach ziemskiego pola ciężkości: wykonując takie pomiary w jakichkolwiek punktach powierzchni Ziemi lub jej sąsiedztwa, otrzymujemy same tylko bezkierunkowe „natężenia“, niczego bowiem więcej przyrządy grawimetryczne dać nie mogą.

Ponieważ jednak z drugiej strony zarówno ciężkość, jak i jej wszelkie przestrzenne zmiany, są wektorami, przeto zrozumiałym jest, iż dla pełniejszego wykorzystania pomiarów grawimetrycznych usiłujemy pomierzone natężenia kojarzyć z kierunkami do nich w rzeczywistości należącymi. Osiąga się to w sposób dwojaki.

Można po pierwsze przyjąć jakiś jeden układ odniesienia wspólny dla wszystkich punktów pomiarowych. Jeżeli takim układem będzie — jak to ma miejsce w praktyce — układ współrzędnych geograficznych, wówczas przyporządkowanie wyników pomiarów grawimetrycznych określonych kierunków w przestrzeni wymaga dodatkowo o b s e r w a c j i a s t r o n o m i c z n y c h.

¹⁾ V e n i n g M e i n e s z, F. A., A formula expressing the deflection of the plumb-line in the gravity anomalies, Kon. Akad. Wet. Amst., 31. p. 315, 1928.

²⁾ N u m e r o w, B., Interrelation between local gravity anomalies and the derivatives of the potential, Z. f. Geoph. 5, p. 58, 1929.

³⁾ C h r a m o w, D. N., C. R. Ac. Sci U. R. S. S., 2, p. 457; 1935; M a l k i n, N., Astr. Journ. of Sov. Un., 13, p. 498, 1936.

Można postąpić i w inny sposób. Można mianowicie dla każdego punktu pomiarowego zdefiniować pewien lokalny układ odniesienia. Czynimy to zazwyczaj w sposób następujący. Za oś z układu lokalnego o początku w punkcie O obieramy kierunek krzywej pionu przechodzącej przez O , ten sam, który wyżej posłużył nam do określenia normalnych pochodnych potencjału ciężkości w tym punkcie. Za płaszczyznę Oxy obieramy płaszczyznę styczną do powierzchni poziomu przechodzącej przez punkt O , przy czym oś x skierowujemy w tej płaszczyźnie tak, aby płaszczyzna Oxz była równoległa do osi obrotu Ziemi. Sens dodatni na osi x obieramy ku północy, na osi y zaś ku wschodowi, tak, iż układ lokalny jest układem prawoskrętnym. Jego oś z jest kierunkiem ciężkości.

Ta druga droga, droga reprezentowania wyników pomiarów grawimetrycznych w lokalnych układach odniesienia, jest w zasadzie tylko przesunięciem trudności, gdyż określenie wzajemnego położenia dwóch lokalnych układów względem siebie, to problem geodezyjny bardzo głęboki¹⁾, do którego rozwiązania znów niezbędne są obserwacje astronomiczne. Droga ta ma natomiast tę zaletę, iż w danym układzie lokalnym zezwala na wygodne posługiwanie się prostokątnymi współrzędnymi Kartezjusza.

W powyżej określonym lokalnym układzie odniesienia normalne pochodne potencjału ciężkości są po prostu pochodnymi względem lokalnej osi z .

Pochodne względem lokalnych osi x i y możemy nazywać pochodnymi stycznymi w kierunkach południka i pierwszego wertykału. Jak wiadomo, jest:

$$\left(\frac{\partial W}{\partial x}\right)_0 = 0, \quad \left(\frac{\partial W}{\partial y}\right)_0 = 0, \quad \left(\frac{\partial W}{\partial z}\right)_0 = \frac{\partial W}{\partial n} = g.$$

Między 6-ma pochodnymi potencjału W rzędu 2-go względem zmiennych x , y i z zachodzi związek (1), tak, iż wystarcza mierzyć 5 pochodnych niezależnych. Kwestię pomiaru jednej z tych pochodnych, mianowicie pochodnej $\left(\frac{\partial^2 W}{\partial z^2}\right)_0$, czyli wertykalnego gradientu ciężkości, omówiliśmy powyżej. Waga skręceń $E \ddot{o} t \ddot{v} \ddot{o} s a$ jest właśnie przyrządem dostarczającym czterech danych pozostałych. Zezwala ona mierzyć wielkości następujące:

$$G_x = \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x \partial z}\right)_0, \quad G_y = \left(\frac{\partial^2 W}{\partial y \partial z}\right)_0, \quad H_{xy} = 2 \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y}\right)_0, \quad H_{\Delta} = \left(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2}\right)_0 - \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2}\right)_0 \quad (8)$$

¹⁾ „Relier entre eux ces divers systèmes d'axes locaux sur la surface de la terre n'est pas autre chose que le problème général de la géodésie: déterminer la figure de la Terre". (E. B o r e l, L'espace et le Temps, Paris, 1923 p. 66).

Dwie pierwsze z nich noszą w geofizyce nazwę gradientów horyzontalnych, dwie drugie — wielkości krzywiznowych *E ö t v ö s a*. Jest to bezpośrednio widocznym, iż waga skręceń *E ö t v ö s a*, łącznie z przyrządem lub postępowaniem mogącym dostarczyć drugiej pochodnej $\left(\frac{\partial^2 W}{\partial z^2}\right)_0$, rozwiązuje całkowicie zadanie wyznaczenia w układzie lokalnym wartości liczbowych wszystkich 6-ciu pochodnych rzędu drugiego potencjału ciężkości *W*.

4. Pokażemy jak w układzie lokalnym wyznaczyć można wartości liczbowe wszystkich 10-ciu pochodnych rzędu 3-go potencjału ciężkości *W* z samych tylko pomiarów wagą skręceń *E ö t v ö s a*.

Z kształtu wyrażeń (8) na gradienty horyzontalne i wielkości krzywiznowe wynika, iż wszystkie 12 wartości pochodnych:

$$\frac{\partial G_x}{\partial x}, \quad \frac{\partial G_x}{\partial y}, \quad \frac{\partial G_x}{\partial z}, \quad \frac{\partial G_y}{\partial x}, \quad \dots \dots \dots \quad \frac{\partial H_{\Delta}}{\partial z}; \quad (9)$$

bądź są to wprost pochodne trzeciego rzędu potencjału ciężkości względem osi układu lokalnego, bądź też wyrażają się przez odpowiednie różnice tych pochodnych. Między 10-oma pochodnymi rzędu 3-go potencjału ciężkości zachodzą trzy związki, jakie otrzymujemy różniczkując związek (1):

$$\begin{aligned} \frac{\partial^3 W}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 W}{\partial x \partial y^2} + \frac{\partial^3 W}{\partial x \partial z^2} &= 0 \\ \frac{\partial^3 W}{\partial x^2 \partial y} + \frac{\partial^3 W}{\partial y^3} + \frac{\partial^3 W}{\partial y \partial z^2} &= 0 \\ \frac{\partial^3 W}{\partial x^2 \partial z} + \frac{\partial^3 W}{\partial y^2 \partial z} + \frac{\partial^3 W}{\partial z^3} &= 0. \end{aligned} \quad (10)^1$$

Jeżeli tedy założyć znajomość wielkości (9), wówczas do wyznaczenia 10-ciu pochodnych 3-go rzędu potencjału *W* mamy 15 danych, które zezwalają napisać wyrażenia na poszukiwane pochodne w różnych, równoważnych sobie, postaciach. Wybraliśmy tutaj i podajemy poniżej tę ich charakterystyczną formę, w której nie figurują pochodne wielkości *E ö t v ö s a* względem zmiennej *z*. Wzory te są następujące:

¹⁾ Zauważmy, iż zespół powyższych 3 związków jest równoważny z wynikającym z wzoru *B r u n s a* wzorem (16).

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial^3 W}{\partial x^3} &= \frac{1}{2} \frac{\partial H_{xy}}{\partial y} - \frac{\partial H_{\Delta}}{\partial x} \\
 \frac{\partial^3 W}{\partial y^3} &= \frac{1}{2} \frac{\partial H_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial H_{\Delta}}{\partial y} \\
 \frac{\partial^3 W}{\partial x \partial y \partial z} &= \frac{\partial G_x}{\partial y} = \frac{\partial G_y}{\partial x} \\
 \frac{\partial^3 W}{\partial x^2 \partial z} &= \frac{\partial G_x}{\partial x} \\
 \frac{\partial^3 W}{\partial y^2 \partial z} &= \frac{\partial G_y}{\partial y} \\
 \frac{\partial^3 W}{\partial x^2 \partial y} &= \frac{1}{2} \frac{\partial H_{xy}}{\partial x} \\
 \frac{\partial^3 W}{\partial x \partial y^2} &= \frac{1}{2} \frac{\partial H_{xy}}{\partial y} \\
 \frac{\partial^3 W}{\partial x \partial z^2} &= \frac{\partial H_{\Delta}}{\partial x} - \frac{\partial H_{xy}}{\partial y} \\
 \frac{\partial^3 W}{\partial y \partial z^2} &= \frac{\partial H_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial H_{\Delta}}{\partial y} \\
 \frac{\partial^3 W}{\partial z^3} &= -\frac{\partial G_x}{\partial x} - \frac{\partial G_y}{\partial y}
 \end{aligned} \tag{11}$$

Pochodne wielkości E ö t v ö s a związane są ze sobą następującymi 5 związkami tożsamościowymi:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial G_y}{\partial x} &= \frac{\partial G_x}{\partial y} = \frac{1}{2} \frac{\partial H_{xy}}{\partial z} \\
 -\frac{\partial G_x}{\partial x} + \frac{\partial G_y}{\partial y} - \frac{\partial H_{\Delta}}{\partial z} &= 0 \\
 \frac{\partial H_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial H_{\Delta}}{\partial y} + \frac{\partial G_y}{\partial z} &= 0 \\
 -\frac{\partial H_{\Delta}}{\partial x} + \frac{\partial H_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial G_x}{\partial z} &= 0.
 \end{aligned} \tag{12}$$

We wzorach (11) i (12) pominięty został znak $()_0$, pamiętać jednak należy, że wzory te są ważne tylko w początku układu lokalnego.

Ponieważ przemieszczając wagę skręceń w sąsiedztwie punktu obranego za początek lokalnego układu współrzędnych wyznaczyć możemy

eksperymentalnie przybliżone wartości pochodnych (9), przeto wobec powyższego wnosimy, iż w s z y s t k i e pochodne 3-go rzędu potencjału ciężkości mogą być wyznaczone przy pomocy wagi E ö t v ö s a. Forma (11) odpowiednich wzorów wskazuje ponadto, iż wszystkie te pochodne potencjału W w początku układu dają się wyznaczyć z pomiarów wagą E ö t v ö s a w sąsiedztwie p ł a s k i m tego punktu, a więc z danych eksperymentalnych uzyskanych w samej tylko płaszczyźnie Oxy układu lokalnego. W takim zespole danych eksperymentalnych ma miejsce jeden tylko związek tożsamościowy, mianowicie pierwszy z podanych wyżej związków (12). Zmiana wysokości przyrzędu niczego nowego zasadniczo dać nie może, chyba że pomiarom takim postawiony zostanie cel kontrolny.

Ostatni z wzorów (11) dostarcza nam absolutnej wartości trzeciej pochodnej normalnej potencjału ciężkości. Pochodna ta wyraża się przez zmiany horyzontalne samych tylko gradientów horyzontalnych G_x i G_y , co wyjaśnia znany dobrze geofizykom fakt bardzo wysokiej „czułości“ gradientów horyzontalnych na niejednorodności w rozkładzie mas sąsiadujących z przyrzędem.

Absolutnej wartości drugiej pochodnej normalnej czyli wertykalnego gradientu ciężkości, waga skręceń nam, jak wiadomo, nie dostarcza. Dwa przedostatnie wzory (11) pouczają jednak, iż można w płaszczyźnie Oxy w sąsiedztwie początku układu lokalnego znaleźć ów gradient wertykalny z dokładnością do stałej nieoznaczonej, mianowicie stosując w tej płaszczyźnie wzór na różniczkę zupełną wertykalnego gradientu, rozważanego jako funkcja dwóch zmiennych x i y :

$$d\left(\frac{\partial^2 W}{\partial z^2}\right) = \frac{\partial^3 W}{\partial x \partial z^2} dx + \frac{\partial^3 W}{\partial y \partial z^2} dy. \quad (13)$$

Postępowanie to jest w istocie relatywnym wyznaczeniem $\frac{\partial^2 W}{\partial n^2}$ między początkiem układu lokalnego, a jego sąsiedztwem w płaszczyźnie Oxy . Jest ono zupełnie analogiczne do tego, jakie stosujemy względem gradientów horyzontalnych, pragnąc użyć pomiarów wagą skręceń dla wyznaczenia różnic ciężkości.

Jak wynika z wzorów (11), do relatywnego wyznaczenia wertykalnego gradientu z pomiarów wagą skręceń potrzebną jest znajomość horyzontalnych pochodnych wielkości krzywiznowych H_{xy} i H_{Δ} .

Na możliwość takiego sposobu wyznaczania przyrostów pochodnej $\frac{\partial g}{\partial z}$ wskazywał już w 1936 r. M a ł k i n ¹⁾.

¹⁾ M a ł k i n, N., l. c.

5. W świetle rozważań powyższych widać wyraźnie, że metodyka opracowania i wykorzystania pomiarów, jakie na powierzchni Ziemi wykonywane są przy pomocy wagi skręceń $E \ddot{o} t v \ddot{o} s a$, może i powinna ulec znacznemu rozszerzeniu. Niezależnie bowiem od ogólnego interesu, jaki przedstawia znajomość drugiej i trzeciej pochodnej normalnej potencjału ciężkości, wielkości te mają szczególnie doniosłe znaczenie praktyczne w zagadnieniach geologiczno-geofizycznej prospekcji. Wynika to z faktu, iż przyrosty drugiej i trzeciej pochodnej normalnej potencjału ciężkości są — w pierwszym przybliżeniu — odwrotnie proporcjonalne do 3-ej i 4-ej potęgi odległości od masy zakłócającej. Łącznie z anomaliami g , które są — również w przybliżeniu — odwrotnie proporcjonalne do 2-ej potęgi tychże odległości, otrzymujemy w ten sposób zespół danych informujący od razu, które szczegóły grawimetrycznych zakłóceń pochodzą od niejednorodności powierzchniowych i płytkich, które zaś — odwrotnie — pochodzą od konfiguracji głębszego podłoża.

Powstaje w sposób naturalny pytanie, jaka jest dokładność metody powyżej przedstawionej. Odpowiadać na to pytanie w całej rozciągłości byłoby, być może, przedwczesne. Należałoby uprzednio, na gruncie bardzo szczegółowych pomiarów wagą skręceń, przeprowadzić wszystkie rachunki związane ze stosowaniem ogółu wzorów (11) i (12). Należałoby ponadto na konkretnych przykładach bliżej zbadać numeryczne metody całkowite, wyżej wspomniane, umożliwiające obliczanie anomalii wertykalnego gradientu na podstawie anomalii ciężkości i osiągalne tymi metodami dokładności porównać z dokładnością przedstawionej tu metody. Na razie, w braku szczegółowszych doświadczeń rachunkowych, ograniczmy się do najgrubszego szacunku.

Dokładność pomiarów wagą skręceń jest bardzo wysoka i doprowadzoną być może nawet do kilku setnych części E ($1E = 1 E \ddot{o} t v \ddot{o} s = 10^{-9} \text{ sek}^{-2}$). Znacznie mniej dokładne są poprawki topograficzne, przy pomocy których uwalniamy rezultat pomiaru od wpływu nierówności terenu. Niedokładność tych poprawek pochodzi głównie z niemożności trafnego ustalenia średniego ciężaru gatunkowego gruntu w otoczeniu przyrządu. Można jednak przyjąć, że rezultaty ostateczne, już poprawione ze względu na topografię terenu, obarczone są błędem $\pm 1E$ w gradientach horyzontalnych i $\pm 2-3 E$ w wielkościach krzywiznowych. Przyjmując odległość między dwoma punktami pomiarowymi równą $50 m$, liczyć się w ten sposób musimy z błędami rzędu $10 \cdot 10^{-14}$ — $100 \cdot 10^{-14}$ c. g. s. w pochodnych trzeciego rzędu potencjału ciężkości i z błędem $\pm 10 E$ w relatywnych wartościach wertykalnego gradientu ciężkości, obliczonych według wzoru (13).

Błędy tego rzędu istotnie są dość duże, jeżeli je porównać z wartościami liczbowymi odnośnych pochodnych potencjału „normalnego“ pola cięż-

kości. W polu „normalnym” $\frac{\partial^2 W}{\partial n^2}$ zmienia się od 3085,5 E do 3087,7 E, czyli wszystkiego o 2,2 E między równikiem a szerokością geograficzną 45°, zaś $\frac{\partial^3 W}{\partial n^3}$ ma w tymże polu wartość równą $1.44 \cdot 10^{-14}$ c. g. s., jak to wi-
 dać np. ze wzoru na normalną wartość wertykalnego gradientu ciężkości:

$$\frac{\partial g}{\partial H} = -0.30855 - 0.000\ 220 \cos 2\varphi + 0.000\ 000\ 144 H \quad (14)$$

gdzie $\frac{\partial g}{\partial H}$ wyrażone jest w miligalach (1 miligal = 10^{-3} cm/sek²) na metr wysokości H ¹⁾).

Stosunki w rzeczywistym polu ciężkości w sąsiedztwie powierzchni Ziemi tym silniej jednak odbiegają od „normalnych“, im wyższe pochodne potencjału śledzimy. Obliczenia 2-iej i 3-iej pochodnej normalnej potencjału ciężkości, jakie autor wykonał przy pomocy przedstawionego wyżej sposobu, wskazują, iż zmiany obu omiawianych wielkości, na niewielkim stosunkowo obszarze kilkudziesięciu km^2 , są z reguły wioleset razy większe niż powyżej oszacowane błędy rachunku przybliżonego.

Nie będziemy na tym miejscu wchodzić w techniczne szczegóły tych obliczeń, zupełnie zresztą prostych, jakie trzeba wykonać dla numerycznego zrealizowania przedstawionej powyżej metody. Podamy natomiast dla przykładu końcowe rezultaty tych obliczeń, przedstawione w postaci ostatecznej, tj. w postaci map z naniesionymi wartościami obu pochodnych normalnych potencjału ciężkości drugiej $-\frac{\partial g}{\partial z}$ i trzeciej $-\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}$.

Pierwsza z naszych map (fig. 1) przedstawia rozkład wartości anomalii wertykalnego gradientu ciężkości w pewnej okolicy podkarpackiej. Kółkami oznaczone są na tej mapie stanowiska wagi skręceń, znajdujące się, jak widać, w odległości 150—300 m jedno od drugiego i tworzące razem kilka nawzajem się przecinających ciągów. Odległość między ciągami stanowisk są rzędu 1000 m i nie potrzeba dodawać, iż powstałe w ten sposób luki w jednostajnym pokryciu badanego terenu punktami pomiarowymi, bardzo szkodliwie odbijają się na dokładności rachunków.

Pomiary wagą skręceń na obszarze tym wykonane, zostały w pierwszym rzędzie wyzyskane dla obliczenia rozkładu różnic ciężkości. Obecność punktu wahadłowego na badanym obszarze — jest on zaznaczony na naszej mapie w pobliżu dolnego jej brzegu nieco większym kółkiem — zezwoliła znalezione w ten sposób różnice ciężkości przerachować na bezwzględne wartości g . Izolinie g , przedstawione na mapie cienkimi liniami w odstępach co 0,5 miligala, tworzą tło charakteryzujące pole cięż-

¹⁾ p. H a m m e r, S., l. c.

kości badanego obszaru. Na tym tle grubymi liniami jest uwidoczniiony przebieg anomalii wertykalnego gradientu ciężkości. Dla jednego ze stanowisk wagi skręceń anomalię tę przyjęto za równą zero — dla reszty stanowisk obliczono ją przy pomocy metody podanej w niniejszej pracy. Jak

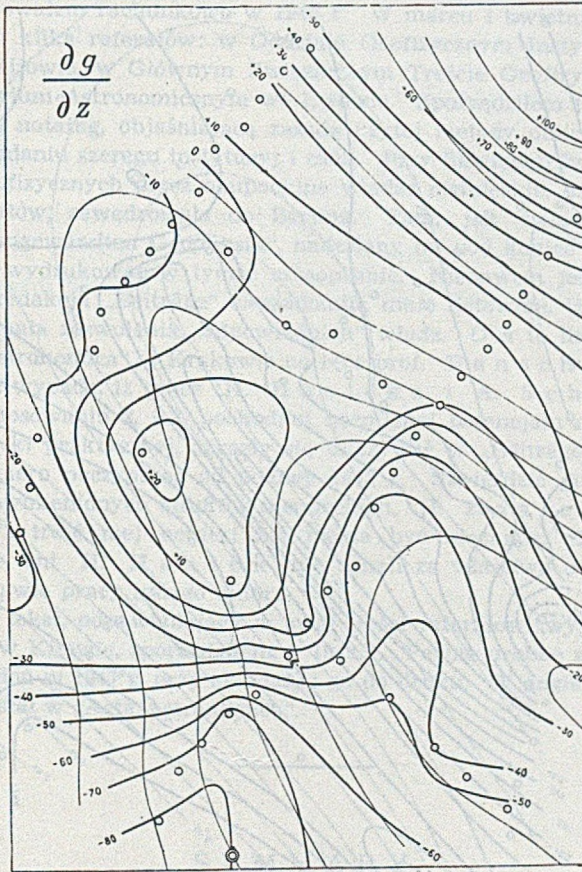


Fig. 1

widzimy, zwraca uwagę ogromna amplituda zmian wertykalnego gradientu ciężkości, amplituda wynosząca ponad 180 E między południowym i północnym brzegiem mapy, tj. na odległości około 3 km.

Na drugiej mapie (fig. 2), przedstawiającej wyniki pomiarów wagą skręceń w innej okolicy podkarpackiej, podany jest przebieg absolutnych wartości pochodnej $\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}$. Podobnie jak na mapie poprzedniej i tutaj tło rysunku stanowią izolinie ciężkości tym jednak razem obliczone jako tzw. anomalie F a y e'a i wyrażone w miligalach. Liniami grubszymi przedstawiony został przebieg trzeciej pochodnej normalnej potencjału

ciężkości. Jak widać z mapy, na przedstawionym obszarze wartości tej pochodnej zmieniają się od $-1400 \cdot 10^{-14}$ do $+500 \cdot 10^{-14}$ c. g. s., a więc o przeszło tysiąc razy więcej, niż wynosi wartość tej pochodnej w polu „normalnym“.

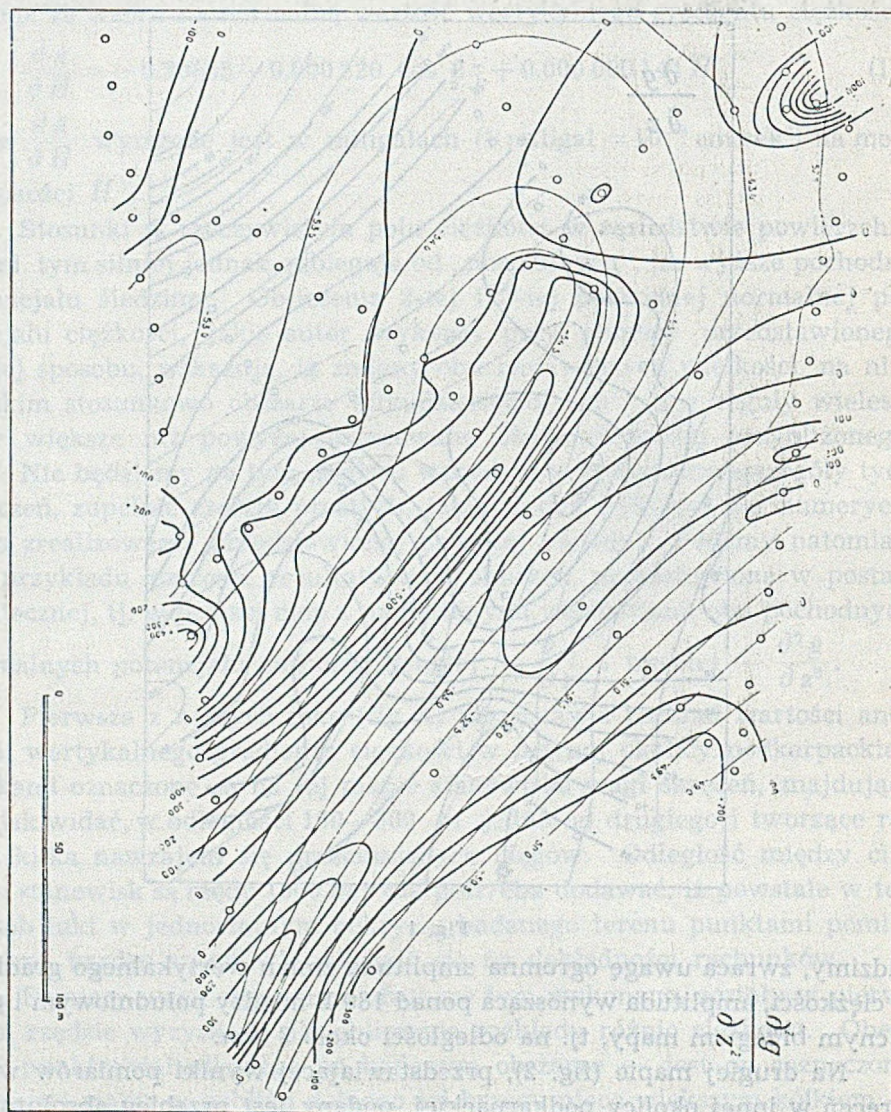


Fig. 2

Obie mapy powyższe podane zostały tutaj tylko tytułem przykładu, dla stwierdzenia praktycznej stosowalności metody przedstawionej w pracy niniejszej. Wolno nam przeto pominąć na tym miejscu geologiczną interpretację otrzymanych rezultatów, jako temat wymagający osobnego i bardziej wyczerpującego omówienia.

U W A G A

Wymaga pewnego wyjaśnienia stosunek niniejszej pracy do szeregu publikacji H. H a a l c k a i A. S c h l e u s e n e r a, umieszczonych w t. 9 i 10 czasopisma „Beiträge zur angewandten Geophysik“. Przedstawiony powyżej sposób obliczenia 2. i 3. pochodnej normalnej potencjału ciężkości z pomiarów wagą skręceń, znalazłem i zastosowałem rachunkowo w 1940 r. W marcu i kwietniu 1941 r. na temat ten wygłosiłem kilka referatów: w Oddziale Geofizycznym Instytutu Geologicznego Ak. Nauk w Kijowie, w Głównym Związkowym Treście Geofizycznym w Moskwie i w Obserwatorium Astronomicznym we Lwowie. Sporządziłem też wówczas krótką maszynopisową notatkę, objaśniającą zasadę użytej metody obliczeniowej. Notatka ta była w posiadaniu szeregu instytucji i osób. Przy likwidacji lwowskich archiwów geologiczno-geofizycznych przez okupacyjne władze niemieckie, notatka moja, wśród innych materiałów, zawędrowała do Berlina. Tam, jak świadczył list redakcji „Beiträge zur angewandten Geophysik“, nadesłany mi pod koniec 1941 r. zamierzano ją początkowo wydrukować w tymże czasopiśmie. Niebawem jednak zamiaru tego zaniechano, a redakcja „Beiträge“ zawiadomiła mnie listownie, iż na druk mej notatki nie otrzymała zezwolenia „odpowiednich“ władz. Oba te listy złożyłem w redakcji „Acta Astronomica“ w Krakowie na ręce prof. B a n a c h i e w i c z a.

Stwierdzić wypada, iż prace H. H a a l c k a i A. S c h l e u s e n e r a, poświęcone zastosowaniu 2. i 3. pochodnej normalnej potencjału ciężkości w zagadnieniach geofizyki praktycznej, zaczęły się ukazywać w „Beiträge zur angewandten Geophysik“ dopiero poczynając od połowy 1942 r. Stwierdzić ponadto wypada, że pierwszemu z wymienionych autorów niemieckich, H. H a a l c k o w i, redakcji „Beiträge“, treść mej notatki nie mogła być nieznaną. Mimo to, ani redakcja „Beiträge“, ani H. H a a l c k nie uznali za właściwe ujawnić fakt posiadania w tej sprawie pracy innego autora.

Niniejszy tekst, odpowiadający w swej treści referatowi wygłoszonemu przeze mnie w 1941 r. w Kijowie, sporządziłem w 1943 r. Pewne drobne zmiany redakcyjne wprowadziłem doń w 1947 r. przy składaniu go do druku. W angielskim tłumaczeniu ogłoszony on został w „Acta Astronomica“.

S U M M A R Y

The author presents in this paper the following simple method of determining the derivatives $\frac{\partial g}{\partial n}$ and $\frac{\partial^2 g}{\partial n^2}$ from the results obtained with the Eötvös torsion balance. If G_x and G_y denote „gradients“ and H_{xy} and H_{Δ} are the „curvature values“ obtained with torsion balance we may find values of the eight derivatives

$$\frac{\partial G_x}{\partial x}, \frac{\partial G_x}{\partial y}, \dots, \frac{\partial H_{\Delta}}{\partial y}$$

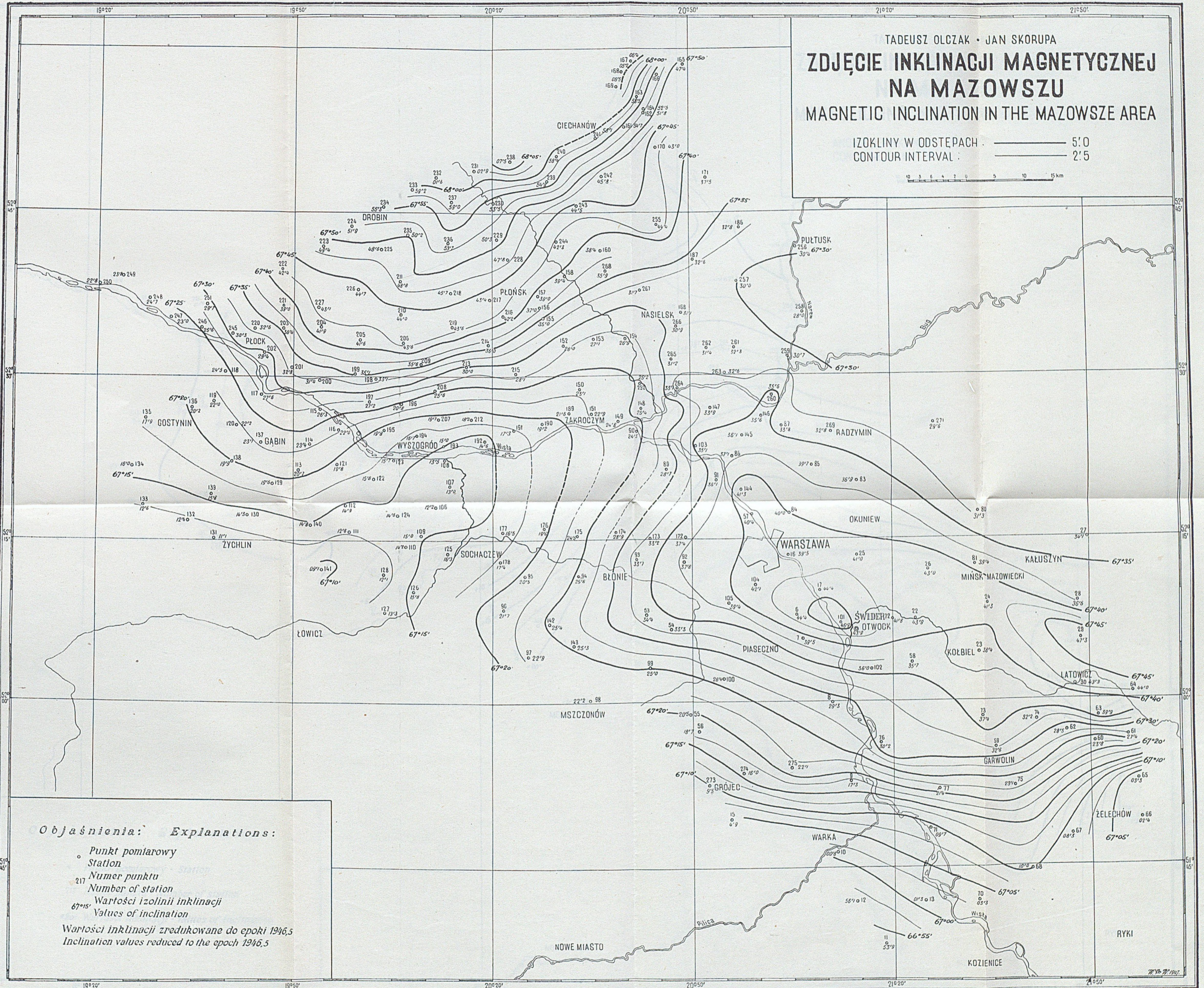
if only the net of the measurement stations is dense enough. Together with the three relations (10), deduced from the Laplace equation, we

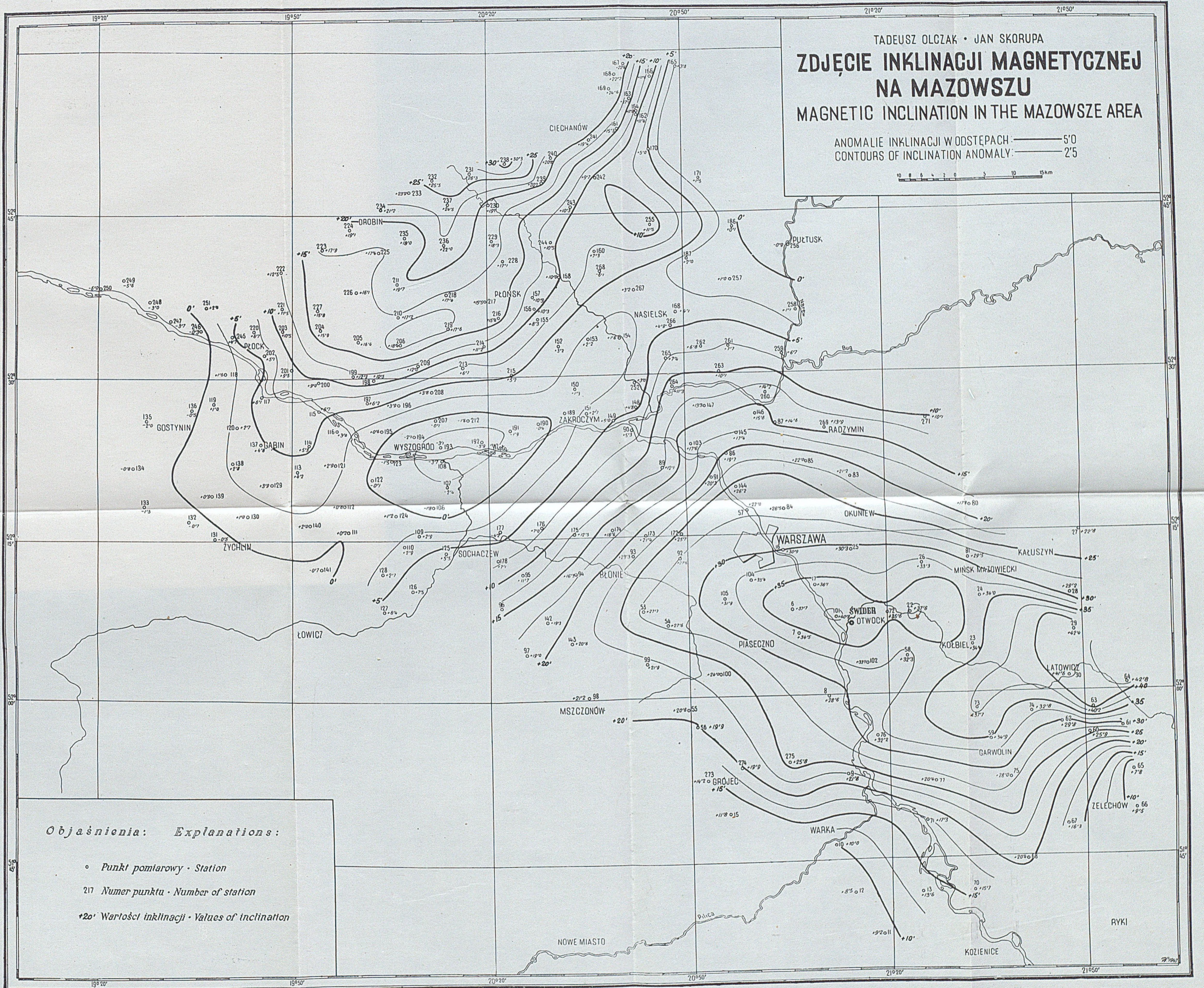
possess therefore eleven relations from which all ten third order derivatives of the gravity potential W may be easily found. Corresponding expressions for these derivatives are given in a special form (11). For the applied geophysics only the last three expressions are of interest. The first two of them by means of (13) enable the calculation of the derivative $\frac{\partial g}{\partial n}$ with the accuracy to an arbitrary constant. The last expression (11) gives us the value of $\frac{\partial^2 g}{\partial n^2}$.

Both derivatives $\frac{\partial g}{\partial n}$ and $\frac{\partial^2 g}{\partial n^2}$ may be used with advantage for gravitational prospecting. This follows from the fact, that they decrease with the higher powers (namely with third and fourth power approximately) of the increasing distance from the disturbing mass.

SUMMARY

The author presents in this paper the following simple method of determining the derivatives $\frac{\partial g}{\partial n}$ and $\frac{\partial^2 g}{\partial n^2}$ from the results obtained with the Böttinger torsion balance. If G and G' denote "gradients" and H and W are the "curvature values" obtained with torsion balance we may find values of the eight derivatives





BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Politechniki Śląskiej

P

1214/48