

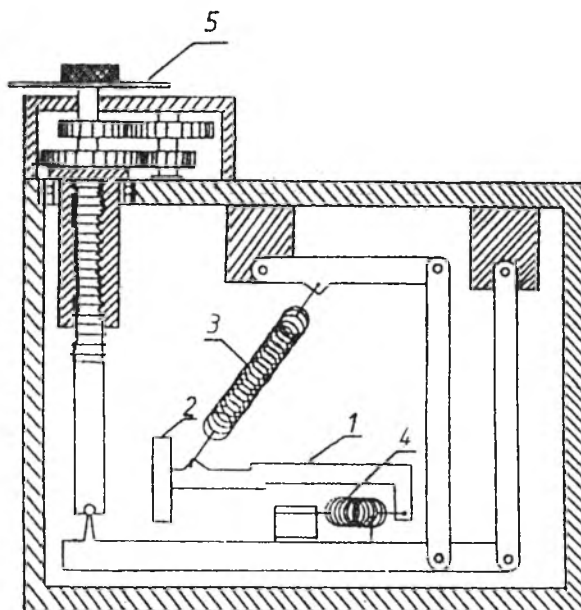
MARIA CISAK

**MODELOWANIE DRYFTU GRAWIMETRÓW
LA COSTE & ROMBERG TYP G PRZY POMIARACH
PODSTAWOWEJ OSNOWY GRAWIMETRYCZNEJ
W POLSCE**

ZARYS TREŚCI: Praca jest próbą ustosunkowania się do zjawiska dryftu. Na podstawie materiału polowego, jaki dostarczyły pomiary polskiej sieci grawimetrycznej w latach 1994-1996, przeprowadzono analizę, która wykazuje, że tzw. dryft krótkookresowy ma charakter głównie przypadkowy.

Polska sieć grawimetryczna została pomierzona w latach 1994-1996 grawimetrami względnymi LaCoste&Romberg uważanymi obecnie za jedne z najdokładniejszych na świecie. Firma ta produkuje wiele różnych typów grawimetrów różniących się sposobem odczytu, zakresem działania i dokładnością. Geodezyjny typ grawimetru użyty przy pomiarach polskiej osnowy, oznaczony symbolem G, ma zakres umożliwiający wykonanie pomiarów różnicy przyspieszenia siły ciężkości Δg pomiędzy punktami położonymi w dowolnych regionach Ziemi. Zakres ten przekracza 7000 miligali, przy dokładności pojedynczego pomiaru szacowanej przez producenta na 0,001 miligala.

Grawimetry tej firmy należą do grupy instrumentów, w których układ pomiarowy zbudowany jest z metalu i zaopatrzony w urządzenie astatyzujące. System mierzący grawimetru (rys. 1) składa się z poziomego ramienia (1), na końcu którego umieszczona jest masa próbna (2). Ramię to jest utrzymywane w pozycji poziomej za pomocą sprężyny zwanej sprężyną główną systemu pomiarowego (3). Sprężyna ta cechuje się bardzo małym współczynnikiem rozszerzalności termicznej, a dodatkowy układ wraz ze sprężyną (4) tłumy ruchy systemu pomiarowego spowodowane drganiami mikrosejsmicznymi. Odczyt wykonuje się na bębnieku śruby mikrometrycznej (5) po uprzednim spoziomowaniu instrumentu i doprowadzeniu ramienia (1) do pozycji poziomej.



Rys. 1. Schemat mierzący grawimetru

System ten, jak dotąd najdokładniejszy, nie zapewnia jednak powtarzalności odczytów na tym samym punkcie w miarę upływu czasu. Zjawisko zmiany odczytów w czasie, nazywane dryftem instrumentu, zachodzi w sposób ciągły. Dryft jest efektem zmniejszania się siły sprężystości głównego układu mierzącego. Jego wielkość zależy także od warunków, w jakich wykonywane są pomiary i od warunków, w jakich grawimetr jest transportowany. Dryft jest zatem funkcją czynników wewnętrznych i zewnętrznych.

Czynniki wewnętrzne to parametry techniczne konkretnego grawimetru oraz jego wieku. Czynniki zewnętrzne to wibracja i wstrząsy działające na system mierzący podczas transportu i pomiaru oraz zmiany temperatury. Na dryft nakładają się również czynniki luno-solarne, krótkookresowe wahania ciśnienia, zmiany poziomu wody gruntowej, zmiany wilgotności gleby. Poprawka luno-solarna może być z wystarczającą dokładnością łatwo wyeliminowana. Wpływ pozostałych czynników jest znacznie mniejszy, ale trudniejszy do wyznaczenia.

W praktyce grawimetrycznej dryft wynikający ze starzenia się sprężyny zwany jest dryftem długookresowym lub stacjonarnym [Torge, 1989] i wyznaczany jest podczas długookresowych badań grawimetru na jednej stacji w stabilnych warunkach zewnętrznych. Dryft krótkookresowy, zwany również polowym lub transportowym [Torge, 1989] wyznaczany jest podczas pomiarów; najczęściej pomiaru jednego przęsła w ciągu 3-4 godzin.

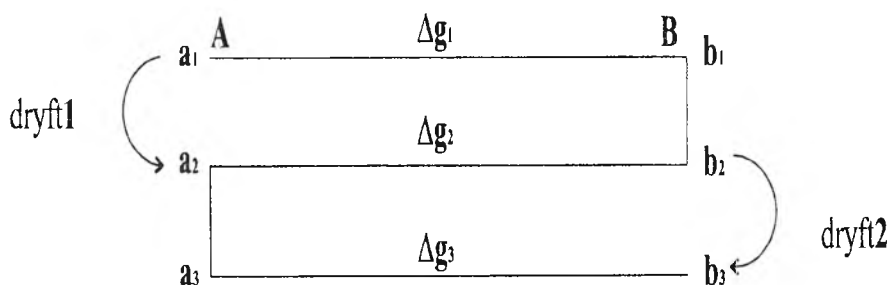
W literaturze fachowej wymieniane są następujące sposoby eliminacji dryftu:

- poprzez modelowanie wg rozwinięcia w szereg Taylora [Torge, 1989],
- poprzez modelowanie wg funkcji Weichela [Torge, 1989],
- za pomocą metody kolokacji [Stang van Hees G.L., 1995],
- metodą kaskadową [Barlik, 1996].

Ogólnie wiadomo, że prawidłowa eliminacja dryftu podnosi zgodność wyników pomiarów grawimetrycznych, a tym samym ich dokładność. W zależności od celu przeprowadzanych pomiarów dobiera się najdokładniejszy schemat obserwacji i sposób modelowania dryftu.

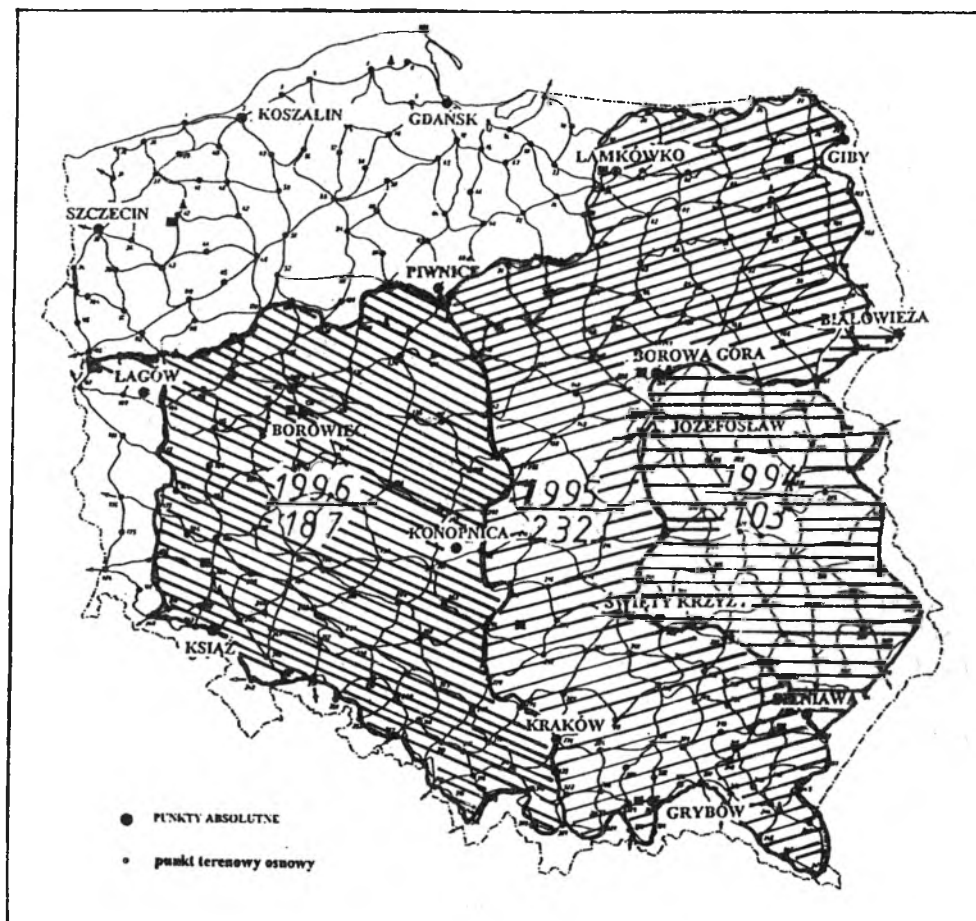
Zanim przystąpiono do pomiaru sieci, pomierzono wielokrotnie kilka przęseł w rejonie Warszawy w celu wybrania modelu dryftu odpowiedniego do zastosowanej technologii pomiaru. W wyniku przeprowadzonych testowych pomiarów stwierdzono, że zmiany odczytów w czasie kilkugodzinnego pomiaru można uznać za przypadkowe zakłócenia w pracy instrumentów.

Obserwacje na punktach sieci wykonano wg schematu A(a_1), B(b_1, b_2), A(a_2, a_3), B(b_3) (rys. 2) w następujący sposób: na punkcie A wykonano obserwację a_1 , po przejechaniu na punkt B dokonano obserwacji b_1 , a następnie po zaaretowaniu instrumentu i jego ponownym ustawieniu i spoziomowaniu dokonano obserwacji b_2 . Ten sam cykl powtórzono po powrocie na punkcie A, uzyskując obserwacje a_2 i a_3 . Po powrocie na punkt B wykonano obserwację b_3 . Przewodzenie pomiarów wg tego schematu pozwala na uzyskanie każdym instrumentem po trzy niezależne wartości Δg na przęśle.



Rys. 2

Dryft grawimetru na przęśle był określony na jednostkę czasu, tj. na godzinę z dwu par obserwacji a_1 i a_2 oraz b_2 i b_3 oznaczonych w dziennikach jako dryft1 i dryft2 i z tych wartości obliczono dryft średni. Przykład liczenia dryftu1 i dryftu2 ilustruje rys. 3.



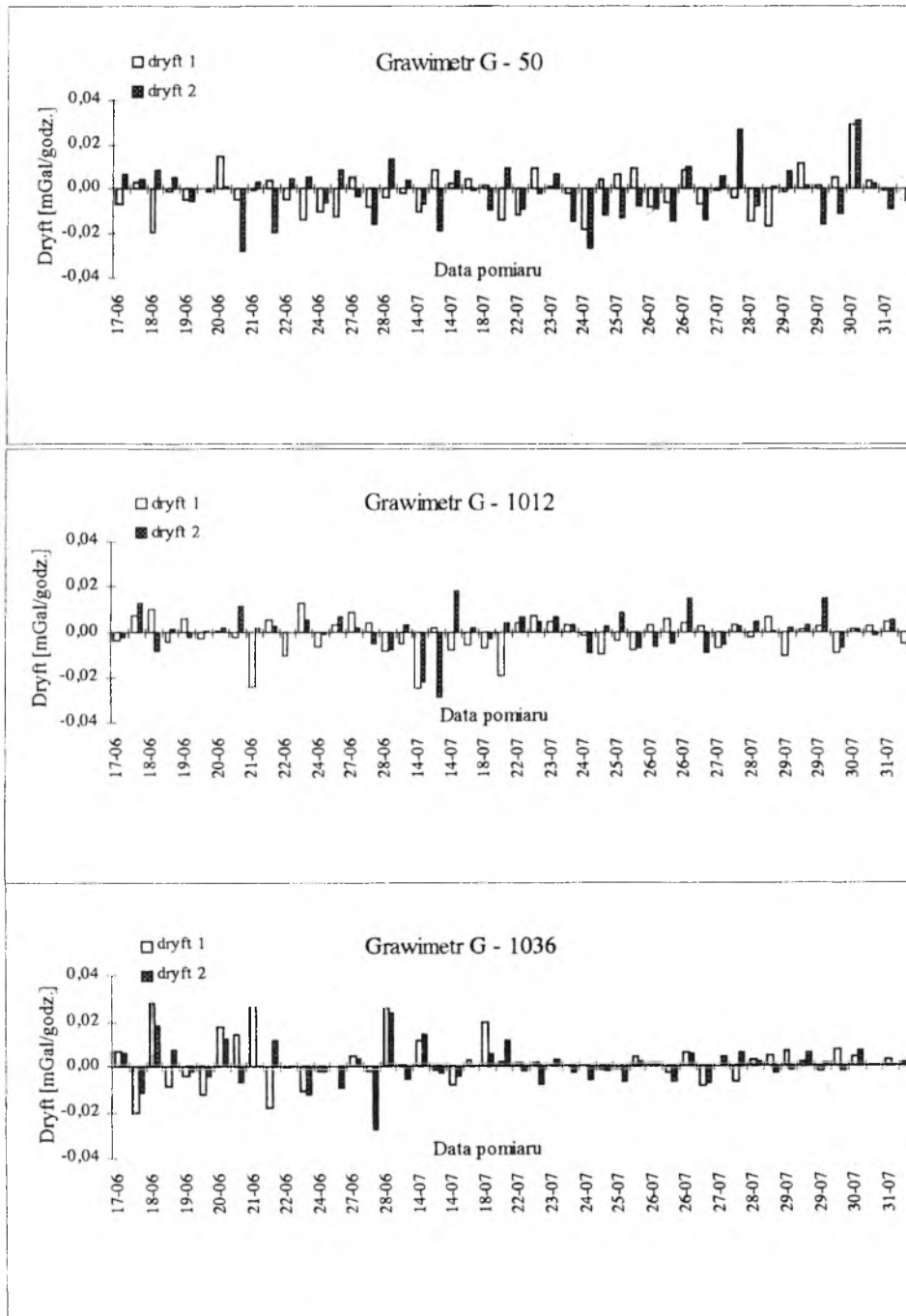
Rys. 4. Podstawowa osnowa grawimetryczna kraju

W sumie Instytut pomierzył 522 przęsła z błędem przeciętnym $0,009\text{mGal}$. Tak bogaty materiał obserwacyjny poddany został w Zakładzie Geodezji Fizycznej szczegółowej analizie dryftów występujących podczas pomiarów przęsła. Dla wszystkich analizowanych dryftów, łącznie około 1,5 tys. par, zrobiono zestawienia i wykresy obejmujące okres od czerwca 1994 do października 1996. W odpowiednich tabelach zestawiono wszystkie dzienne dryfty grawimetrów użytych w czasie pomiarów, wartość przęsła w miligalach, czas trwania pomiaru oraz podano nazwisko obserwatora i markę samochodu. Przedmiotem analizy były pary dryftów na przęsłach. Z tabel i wykresów wynika, że procent wy-

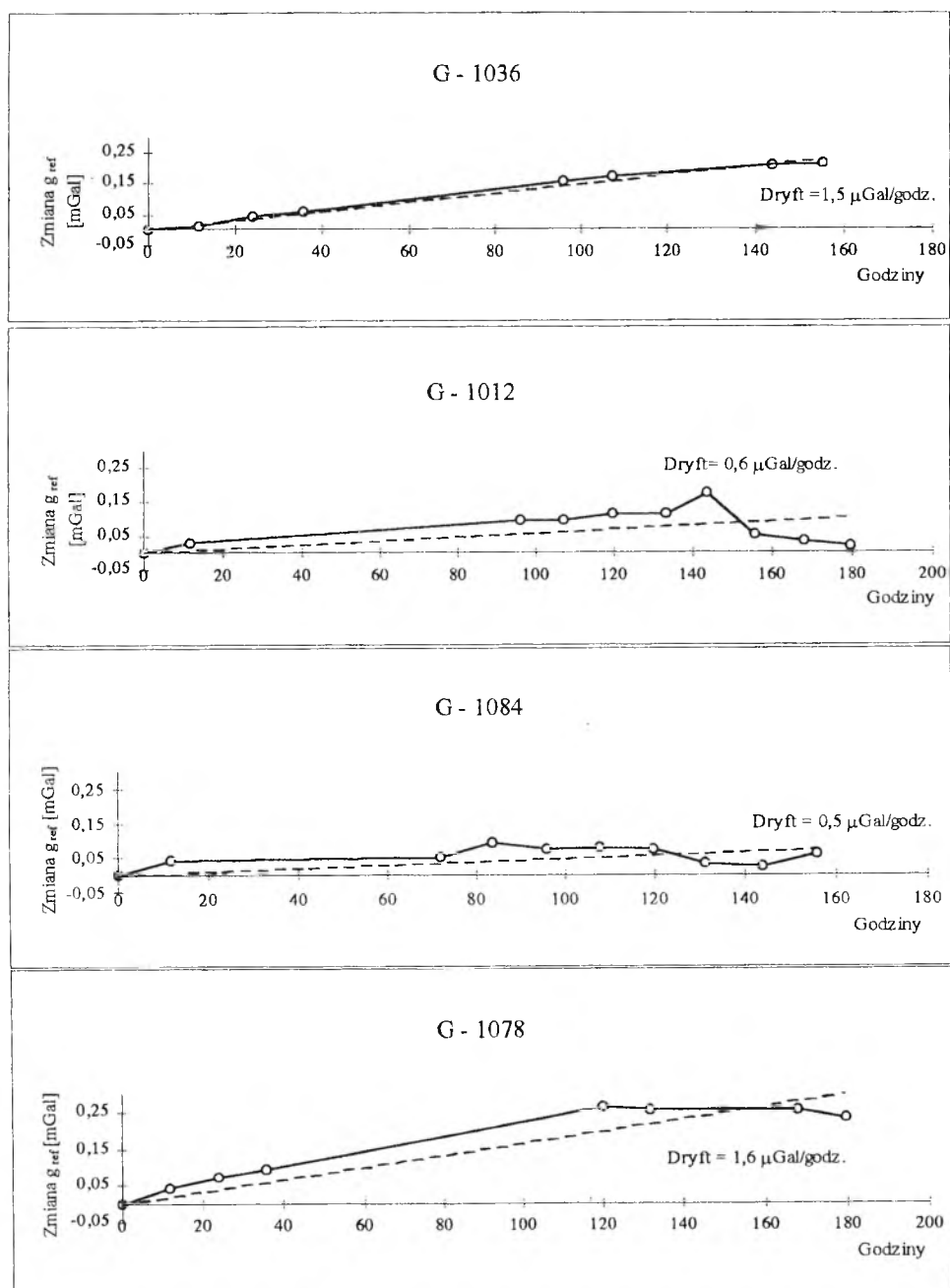
stępowania par dryftów o znakach przeciwnych, o znakach zgodnych ujemnych i o znakach zgodnych dodatnich jest mniej więcej jednakowy, z niewielką przewagą par o znakach przeciwnych. I tak na przykład dla grawimetru G-1012 było 36 % dryftów o znakach przeciwnych, 32 % dryftów o znakach zgodnych ujemnych i 32 % dryftów o znakach zgodnych dodatnich, co by wskazywało na przypadkowy charakter tych dryftów. Dla ilustracji powyższego stwierdzenia, jako typowe przedstawiono wykresy dryftów (rys. 5) trzech instrumentów, które użyto do pomiarów przęseł w rejonie centralnej i zachodniej Polski w okresie od 17 czerwca do 31 lipca 1996 r. Na wykresach tych w sposób słupkowy przedstawiono pary dryftów, tj. dryft1 i dryft2 dla kolejno mierzonych przęseł. Średnia wartość z dryftów, jaka na tych trzech grawimetrach wystąpiła podczas tych pomiarów, wyniosła $-2,1 \mu\text{Gal}$ dla grawimetru G-50, $-0,8 \mu\text{Gal}$ dla grawimetru G-1012 i $1,2 \mu\text{Gal}$ dla grawimetru G-1036. Na podstawie wszystkich przeprowadzonych analiz stwierdzono, że nie ma żadnego związku pomiędzy mierzoną wartością różnicy przyspieszenia i występującymi na tym przęśle dryftami, a także nie zauważono związku między wielkością dryftu a osobą obserwatora. Natomiast bardzo duży wpływ na wartość występujących dryftów ma sposób przewożenia grawimetrów oraz użyty samochód, gdyż kilkakrotnie z powodu niewłaściwego przewożenia instrumentów pomiar należało powtórzyć. Jest to zgodne z tym, co zaobserwował i zbadał Lambert [Torge, 1989], że dryft jest funkcją transportu i zgodnie z jego badaniami precyzja obserwowanych różnic grawitacji była najlepsza, gdy grawimetry były noszone. W wypadku pomiarów wykonanych przez IGiK, do przewozu grawimetrów używano samochodów osobowych marki Fiat, Dacia, Polonez, Łada, a same instrumenty wożone były na tylnym siedzeniu na materacu z gąbki i zabezpieczone przed przechyłami.

Analiza dryftów potwierdza więc zrobione na początku pomiarów założenie, że dla małych różnic czasu modelowanie dryftów wielomianem 1-go stopnia jest wystarczające.

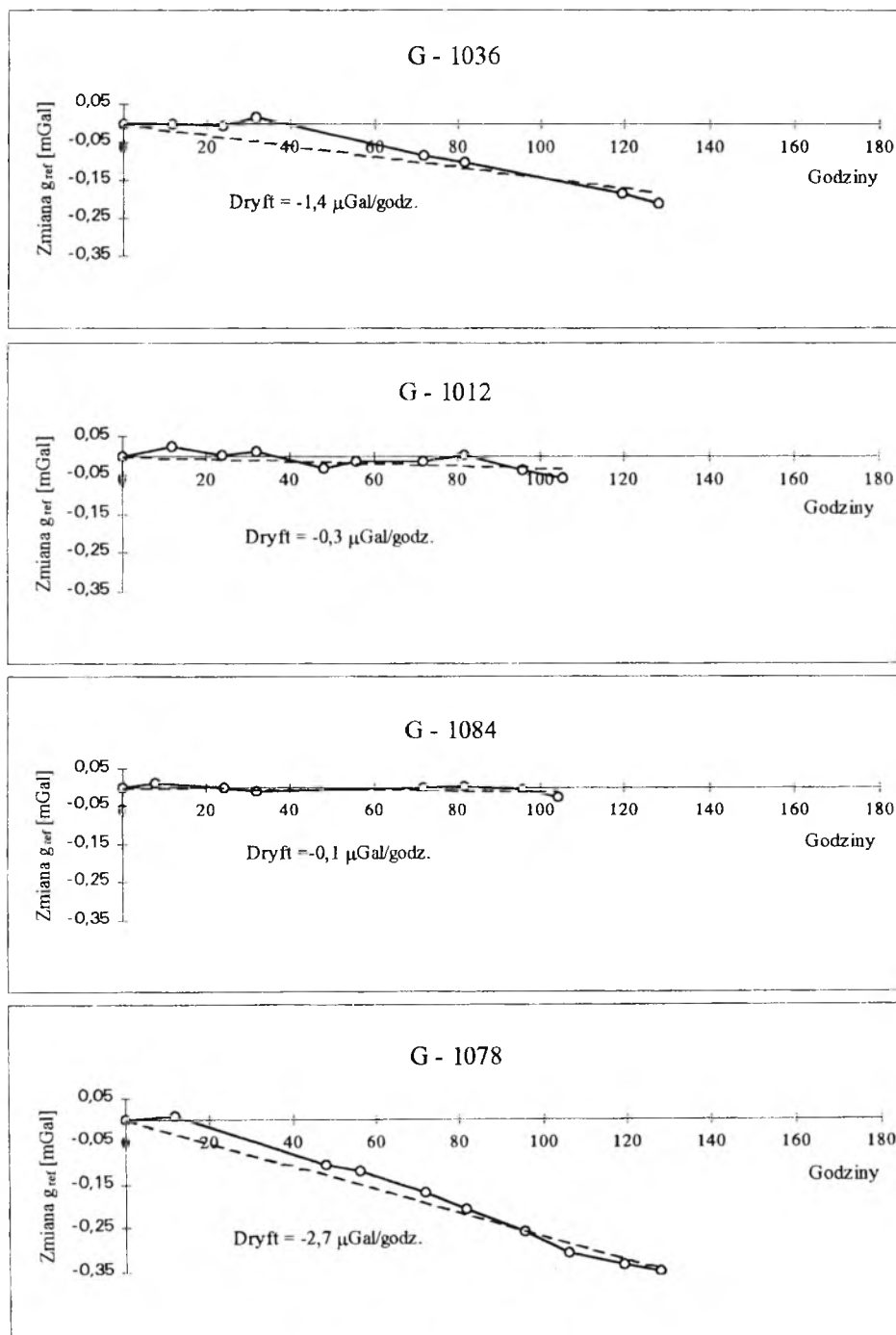
Jako uzupełnienie przeprowadzonych analiz prześledzono również, jak kształtują się dryfty grawimetrów nr 1012, 1036, 1078 i 1084 w dłuższym przedziale czasowym, wykorzystując do tego celu obserwacje wykonane tymi grawimetrami na długich przęślach: Borowa Góra-Gdańsk, Borowa Góra-Ojców i Borowiec-Książ, Borowiec-Koszalin. Na rysunkach 6,7 przedstawione są za pomocą wykresów zmiany odczytów, w tym wypadku są to średnie z serii odczytów na bębnie przeliczone na miligale z poprawką luno-solarną, na punktach w Borowej Górze i Borowcu w czasie kilku dni, z których wynika, że wielkość dryftu jest niewielka, gdyż waha się w granicach od $-1,4 \mu\text{Gal}/\text{godz}$ do $1,5 \mu\text{Gal}/\text{godz}$ dla grawimetru 1036, dla grawimetru 1012 od $-0,3 \mu\text{Gal}$ do $0,6 \mu\text{Gal}$. W przypadku grawimetru G-1084 wielkość ta waha się w granicach od $-0,1 \mu\text{Gal}/\text{godz}$. do $0,5 \mu\text{Gal}/\text{godz}$., a dla grawimetru G-1078 od $-2,7 \mu\text{Gal}/\text{godz}$. do $1,6 \mu\text{Gal}/\text{godz}$.



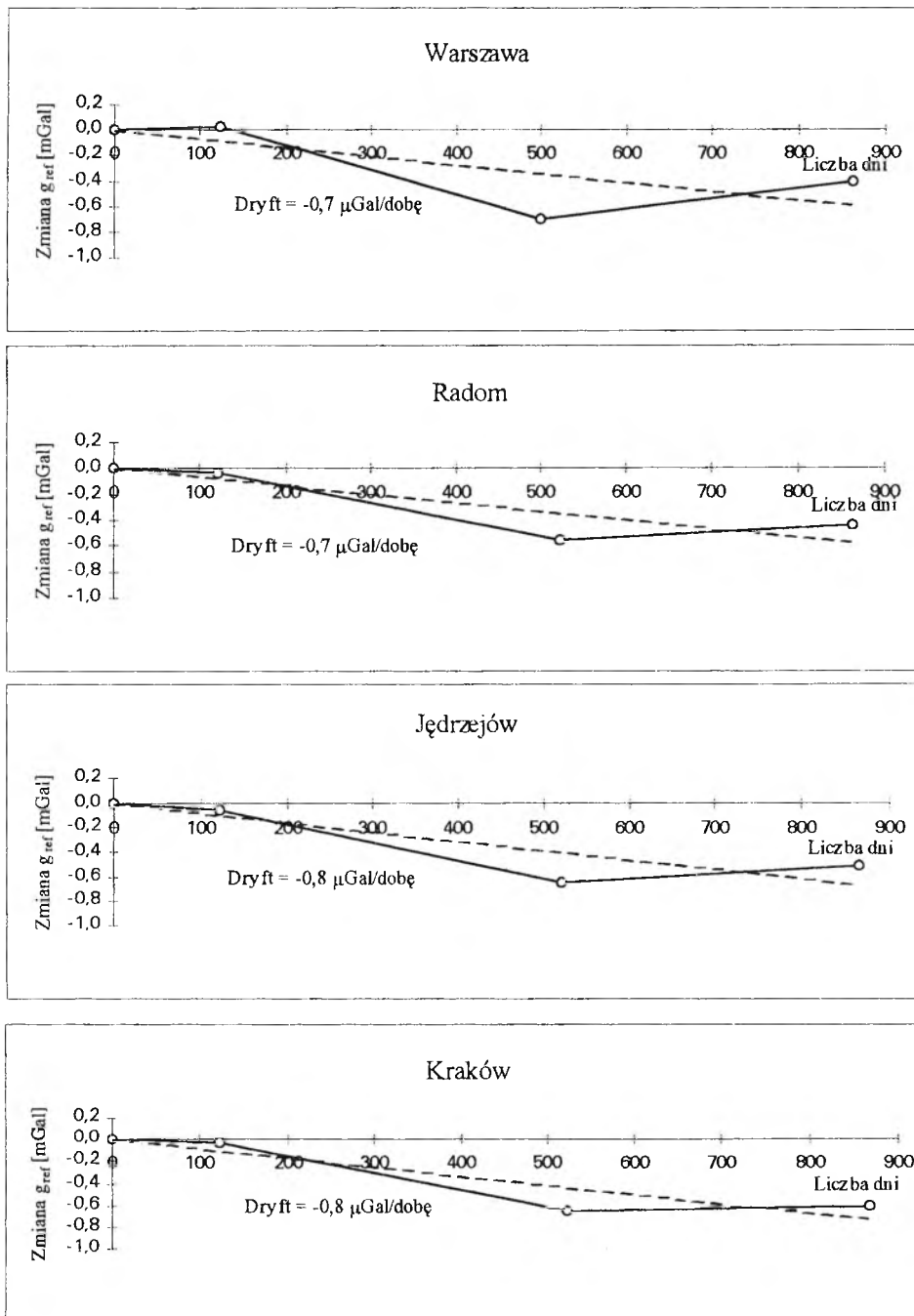
Rys. 5. Zestawienie dryftów występujących podczas pomiaru przęseł w rejonie zachodniej Polski w 1996 r.



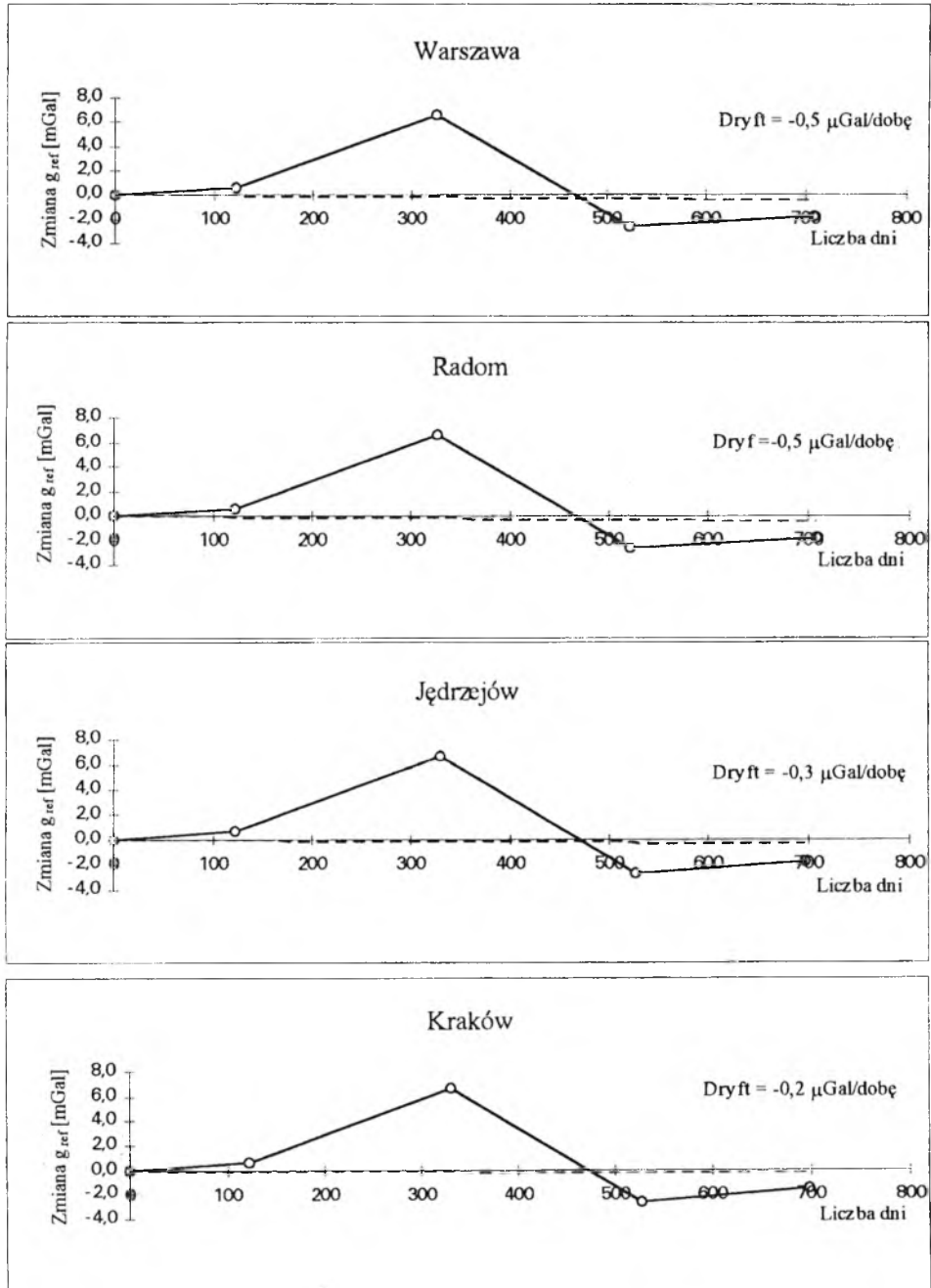
Rys. 6. Zmiany odczytów grawimetrów występujące na punkcie Borowa Góra



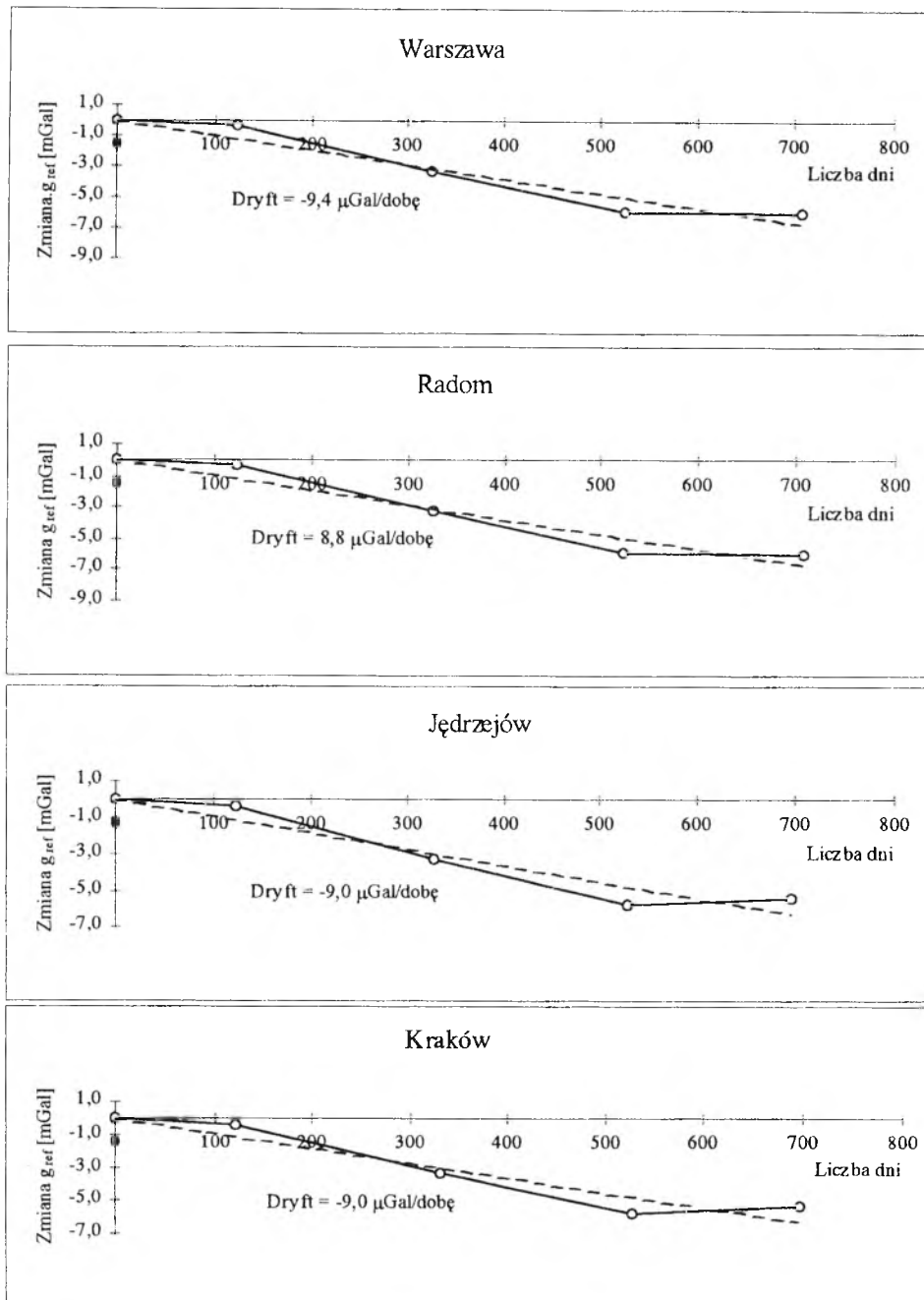
Rys. 7. Zmiany odczytów grawimetrów występujące na punkcie Borowiec



Rys. 8. Zmiana odczytów grawimetru G-67
na punktach Krajowej Rady Grawimetrycznej
w okresie VI 1994 – XI 1996



Rys. 9. Zmiana odczytów grawimetru G-1012 na punktach Krajowej Bazy Grawimetrycznej w okresie VI 1994 – VI 1996



Rys. 10. Zmiana odczytów grawimetru G-1036 na punktach Krajowej Bazy Grawimetrycznej w okresie VI 1994 – VI 1996

Do prześledzenia dryftów grawimetrów wykorzystano również wszystkie obserwacje wykonane na tych instrumentach na polskiej bazie grawimetrycznej na punktach w Warszawie, Radomiu, Jędrzejowie, Krakowie w ciągu 3 lat trwania pomiarów, co ilustrują rysunki 8, 9 i 10. Również te wykresy potwierdzają postawioną na wstępie tezę, że przy przyjętym sposobie pomiaru różnic przyspieszenia siły ciężkości do modelowania dryftu wystarcza wielomian 1-go stopnia, a nawet można z niego zrezygnować, gdyż zmiany odczytu grawimetru w czasie kilku godzin pomiaru przęśla można traktować jako przypadkowe zakłócenia jego pracy. Powyższe stwierdzenie znajduje potwierdzenie w pracy H.-G. Wenzela w rozdziale "Evaluation of the gravity observations" [Wenzel H., 1996].

LITERATURA

- [1] Barlik M., Pachuta A.: *Kaskadowy model eliminacji dryftu z wyników pomiarów grawimetrami LaCoste, Romberg Model G i Autograv Scintrex CG-3*. Prz. Geod. 1996 nr 5
- [2] Stang van Hees G.L.: *Adjustment and Quality Control of Gravity Network*. Delf University of Technology report (prywatna korespondencja) 1995
- [3] Torge W.: *Grawimetry*. Walter de Gruyter, Berlin, New York 1989
- [4] Wenzel H.: *The Vertical Gravimeter Calibration Line at Karlsruhe*. Bulletin D'information 1996 nr 78

*Recenzował: prof. dr hab. inż. Andrzej Sas-Uhrynowski
Przyjęto do opublikowania we wrześniu 1997 roku*

MARIA CISAK

MODELLING OF DRIFT OF LACOSTE & ROMBERG TYPE G GRAVIMETERS AT MEASUREMENTS OF THE BASIC GRAVIMETRIC CONTROL NETWORK IN POLAND

S u m m a r y

Polish gravimetric network was measured between 1994-1996 with the use of LaCoste & Romberg relative gravimeters. These instrument is presently recognised as one of the most precise in the world, but while using it so-called

drift phenomenon also appears. Drift is the result of decreasing the resilience force of the main measuring system and is manifested by change of readings in time; it is a function of inner and outer factors.

The aim of this work was to make the detailed analysis of drifts, which appear during measurement of segments of Polish gravimetric network, as it is commonly known, that proper drift elimination increases compatibility of gravimetric measurements and hence their accuracy. In the course of measurements the scheme of observations: A-B, B-A, A-B was applied; it ensured repeatability of measurements for points at three consecutive surveys.

Pairs of drifts observed on segments of gravimetric network were the subject of analysis. 1500 drifts were analysed in total. The charts and graphs presenting all daily drifts of gravimeters used for measurements from June 1994 till October 1996 were prepared. As a result of all analyses it was found, that there is no relation between measured values of difference in acceleration and values of drifts, which appear on this segment. No relation was observed between values of drift and observer, but they were influenced by the way of transporting gravimeters.

Analysis of drifts confirms the initial assumption, that for particular type of measurements and for small time differences modelling of drifts by first-order polynomial is sufficient; this procedure can be even omitted due to random character of drifts.

Translation: Zbigniew Bochenek

МАРИЯ ЦИСАК

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДРИФТА ГРАВИМЕТРОВ
LA COSTE & ROMBERG ТИПА G ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ
БАЗОВОЙ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ В ПОЛЬШЕ

Р е з ю м е

Польская гравиметрическая сеть была измерена в 1994–1996 годах относительными гравиметрами La Coste & Romberg, которые считаются в настоящее время одними из наиболее прецизионными в мире, но не лишённые явления, называемого в литературе дрейфом. Дрейф является эффектом уменьшения силы пружинистости главной измеряющей системы и демонстрируется изменением отсчётов во времени, является функцией внутренних и внешних факторов.

Целью этой работы было проведение подробного анализа дрейфов, выступающих во время измерений звеньев польской гравиметрической сети, т.к. общеизвестно, что правильное исключение дрейфа повышает соответствие результатов гравиметрических измерений, а тем самым их точность. Во время измерения польской гравиметрической сети была принята такая схема наблюдений, которая обеспечивала повторяемость измерений на пунктах в трёх измерительных рейсах /ходах/: А-В, В-А, А-В.

Предметом анализа были пары дрейфов на звеньях. В общем было проанализировано 1,5 тыс. пар дрейфов. Составлено сводки и графики, охватывающие все дневные дрейфы гравиметров, используемых во время измерений с июня 1994 г. по октябрь 1996 г. На основе всех проведённых анализов установлено, что не существует никакой связи между измеренной величиной разниц ускорения и выступающими на этом звене дрейфами. Не замечено связи между величиной дрейфа и лицом наблюдателя, зато очень большое влияние на величину выступающих дрейфов имеет способ перевозки гравиметров.

Анализ дрейфов подтверждает сделанное в начале измерений предположение, что при принятом способе измерений, для малых разниц времени, моделирование дрейфов многочленом 1-ой степени является достаточным, и даже можно от него отказаться ввиду случайного характера дрейфов.

Перевод: Róża Tołstikowa

АНТОНИ КЕГЛЕР

ХОД СУТОЧНОГО ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУРЫ
В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ ВОЗДУХА
КАК ОСНОВА ОЦЕНКИ ОШИБОК РЕФРАКЦИИ
ПРИ НИВЕЛИРОВАНИИ

Р е з ю м е

В работе представлены результаты измерений градиента температуры в приземном слое воздуха /до 3 м./, на основе которых вычислен коэффициент рефракции. Представлены также величины ошибок нивелирования, вызванных дифференцированной рефракцией. Установлено, что ошибки рефракции могут вызывать ошибку нивелирования большую, чем 4мм/1км. Определено оптимальное время нивелирования – утренние и послеобеденные часы.

Перевод: Róża Tolstikowa