

INSTYTUT GEODEZJI I KARTOGRAFII

Zakład Geofizycznych Problemów Geodezji

Morskie pomiary grawimetryczne

wykonane w obszarze zdjęcia półszczegółowego

w 1972 roku.

Sprawozdanie naukowo-badawcze.

Opracowała Danuta Chowańska-Otyś

Warszawa 1974 r.

Morskie pomiary grawimetryczne 1972r

## I. Cel i organizacja badań

Począwszy od 1970 roku Instytut Geodezji i Kartografii przy współpracy Instytutu Fizyki Ziemi Akademii Nauk ZSRR prowadził wspólnie badania w celu poznania pola przyspieszenia siły ciężkości na Morzu Bałtyckim wzdłuż wybrzeża polskiego i wypracowania metodyki prowadzenia grawimetrycznego zdjęcia powierzchniowego przy użyciu morskich grawimetrów pokładowych.

W latach 1971 i 1972 wykonane zostało zdjęcie grawimetryczne o charakterze ogólnym w rejonie południowej części Morza Bałtyckiego wzdłuż całego polskiego wybrzeża w pasie szerokości około 100 kilometrów od brzegu.

Pomyślne wyniki przeprowadzonych badań i uzyskane doświadczenia mogły stanowić podstawę dla przeprowadzenia bardziej szczegółowych i dokładniejszych morskich pomiarów grawimetrycznych. Przewidywaliśmy, że zwiększenie dokładności tych pomiarów można będzie osiągnąć drogą zwiększenia dokładności utrzymywania statku na zadanym kursie i określenia pozycji statku, zmniejszenia odstępów między profilami pomiarowymi oraz przeprowadzenie powtórnych pomiarów. Takie pomiary zostały wykonane w okresie od 19 lipca do 20 sierpnia 1972 roku na statku polskim "Jan Turlejski".

Rezultatami przeprowadzonych prac były:

- 1/ Grawimetryczne pomiary na obszarze  $1300 \text{ km}^2$  /w pobliżu portów Łeba-Rozewie/, mające na celu zagęszczenie wyników badań przeprowadzonych w 1971 roku ;
- 2/ Pomiary na poligonach w Zatoce Pomorskiej;
- 3/ Pomiary grawimetryczne na poligonach na trasie Gdynia-Świnoujście i Świnoujście-Gdynia, mające na celu dokonanie kontroli zdjęcia wykonanego w czasie poprzednich ekspedycji

4/ Pomiary brzegowe, wykonane w portach Gdynia i Świnoujście.

## II. Aparatura

Zainstalowana na statku aparatura grawimetryczna składała się z dwóch wzorcowych instrumentów grawimetrycznych TGG-1 /GAŁ-M nr 4 i GAŁ-M nr 5/ oraz jednego doświadczalnego /eksperymentalnego/ grawimetru TGG-1 nr 5. Wszystkie trzy instrumenty były ustawione na stabilizatorach żyroskopowych.

Element mierzący w grawimetrach tych stanowi podwójny system kwarcowy, zasada działania którego oparta jest na wykorzystaniu sprężystych właściwości skręconych nici oraz gęstej cieczy tłumiącej. Zmiany kąta skrętu nici rejestrowane są przy pomocy układu optycznego na przesuwającej się taśmie fotograficznej. W celu zachowania stałej temperatury układu mierzącego zastosowano termostaat elektryczny.

/W czasie pomiarów zachowana była temperatura  $+35^{\circ}\text{C}$  wewnątrz grawimetrów/.

Utrzymanie osi czułości systemu mierzącego w położeniu pionowym zapewnione jest dzięki obudowie grawimetru, stanowiącej cztero - żyroskopowe wahadło sferyczne. Grawimetry ustawione były w pomieszczeniu, znajdującym się w pobliżu środka ciężkości statku w odległości około 8 metrów w kierunku dziobu statku i około 1 metra poniżej linii wodnej.

W skład wykorzystywanej dla celów badań grawimetrycznych aparatury nawigacyjnej wchodziły odbiorniki systemów radionawigacyjnych Decca i Sea-fix, dwie echosondy i żyrokompas.

### III. Metodyka i wyniki prac

#### 1. Obserwacje wyjściowe, określenie parametrów instrumentów grawimetrycznych

W czasie omawianych morskich pomiarów grawimetrycznych statek czterokrotnie cumował w porcie Gdynia i raz w Świnoujściu.

W okresie postoju w portach regularnie 2 razy w ciągu doby wykonywano obserwacje grawimetryczne. Ogółem przy pomocy każdego z trzech grawimetrów wykonano po 31 obserwacji brzegowych.

Ze względu na konieczność zmiany optyki w grawimetrze TGG-1 nr 5 w dniu 25 lipca, obserwacji brzegowych wykonanych do tego dnia przy użyciu wspomnianego wyżej instrumentu, nie brano pod uwagę przy opracowywaniu wyników pomiarów.

Na podstawie obserwacji brzegowych, wykonanych przy pomocy wszystkich trzech grawimetrów, sporządzone zostały wykresy chodu instrumentów.

Obserwacje wykonane w Świnoujściu doprowadzone były do poziomu grawimetrycznego Gdyni. Z opracowanych wykresów chodu grawimetrów widać, że ma on charakter liniowy. Grawimetr GAŁ-M nr 4 po 10 sierpnia zmienił nagle odczyty o 5 miligali /skok grawimetru/. Aproksymacja wyników obserwacji wyjściowych linią prostą pozwala określić następujące charakterystyki instrumentów:

| Grawimetr  | Chód grawimetru |           | Średni błąd odchylen<br>obserwacji brzegowych<br>od linii prostej<br>/w mgal/ |
|------------|-----------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------|
|            | mm/dobę         | mgal/dobę |                                                                               |
| GAŁ-M nr 4 | 0,0102          | 0,92      | ± 1,1                                                                         |
| GAŁ-M nr 5 | 0,0090          | 0,93      | ± 1,5                                                                         |
| TGG-1 nr 5 | 0,0070          | 0,99      | ± 1,6                                                                         |

Przy opracowaniu wyników pomiarów jako odczyty wyjściowe  $m_w$  przyjęto wartości, otrzymane na podstawie linii aproksymujących na moment: 12 godzin czasu środkowo-europejskiego dnia 7 sierpnia 1972 roku. Poprawki ze względu na chód grawimetrów wprowadzone więc były do wyników obserwacji przed przyjętym momentem wyjściowym ze znakiem plus, a następnie - ze znakiem minus. Przyjęto następujące wartości odczytów wyjściowych:

a/ dla grawimetru GAŁ-M nr 4:  $m_w = +1,05$  mm /od początku pomiarów do momentu wyjściowego/, oraz  $m_w = +1,10$  mm /w okresie późniejszym/

b/ dla grawimetru GAŁ-M nr 5:  $m_w = -3,62$  mm

c/ dla grawimetru TGG-1 nr 5:  $m_w = +3,16$  mm

Współczynniki skali grawimetrów zostały określone drogą ich cechowania metodą nachylania, wykonanego przed rozpoczęciem ekspedycji.

I tak dla grawimetru GAŁ-M nr 4 współczynnik  $k=90,4$  mgal/mm,  
dla grawimetru GAŁ-M nr 5  $k=103,0$  mgal/mm,  
dla grawimetru TGG-1 nr 5  $k=141,8$  mgal/mm.

Współczynniki czasu  $\tau$  tych grawimetrów określone zostały w Gdyni przed rozpoczęciem pomiarów i dla poszczególnych grawimetrów mają wartość 300, 240 i 180 sek.

W celu przywiązania grawimetrycznego zdjęcia wykonanego na morzu do podstawowej krajowej sieci grawimetrycznej, wykonane zostały w 1971 roku pomiary dowiązujące w porcie Gdynia przy użyciu grawimetru Sharpe nr 228 G, będącego własnością IGiK.

## 2. Nawigacja dla potrzeb badań grawimetrycznych na morzu

W południowej części Morza Bałtyckiego u wybrzeży polskich można stosować w celu wyznaczenia pozycji statku określenie astronomiczne, nawigacyjne i radionawigacyjne.

Nawigacyjne zabezpieczenie pomiarów grawimetrycznych przeprowadzonych w czasie ekspedycji na "Janie Turlejskim" w 1972 roku wykonywano zasadniczo na podstawie zastosowania systemów radionawigacyjnych Decca i Sea-fix.

System Decca jest to radionawigacyjny hiperboliczny system fazowy, którego istota działania opiera się na pomiarze różnicy faz dwóch drgań elektromagnetycznych, wysyłanych przez dwie stacje nadawcze i zarejestrowanych w odbiorniku. Grupa stacji stanowiąca jeden węzeł obejmuje swym zasięgiem obszar w promieniu ok. 300 Mm wokół stacji głównej. W nocy zasięg jest mniejszy ze względu na zmianę warunków propagacji fal.

Zespół odbiorczy systemu Decca składa się z anteny, właściwego odbiornika, urządzenia wskaźnikowego oraz przetwornicy do zasilania.

W przypadku pomiarów wykonywanych w 1972 r. na polskim statku wykorzystywano sygnały południowo-szwedzkiego łańcucha tego systemu.

System Sea-Fix jest systemem radionawigacyjnym z małym zasięgiem ok. 20 Mm nad wodą morską. Stanowi on odmianę systemu Hi-Fix. Zespół stacji tego systemu, może pracować w systemie hiperbolicznym lub kołowym. Maksymalna dokładność wyznaczenia pozycji przy zastosowaniu tego systemu wynosi 2 metry.

Ze względu na konieczność zapewnienia optymalnych warunków na statku "Jan Turlejski" aparaturę nawigacyjną Decca i Sea-Fix zainstalowano w kabinie nawigacyjnej, natomiast aparaturę grawimetryczną - w specjalnie do tego celu przystosowanym pomieszczeniu w pobliżu środka ciężkości statku. Między tymi dwoma pomieszczeniami zapewniono bezpośrednią łączność przy użyciu telefonu i radiotelefonu. Umożliwiało to natychmiastowy przekaz informacji dotyczących pracy zespołów grawimetrycznego i nawigacyjnego.

Wskazania nawigacyjnej aparatury odbiorczej i chronometrów były rejestrowane fotograficznie w odstępach od 2 do 15 minut w zależności od poligonu /charakteru badań/ oraz filmowane automatycznie co 20 sekund. Z uzyskanego w ten sposób materiału po jego opracowaniu wykorzystano dla potrzeb opracowania wyników pomiarów grawimetrycznych jedynie niewielki procent danych nawigacyjnych. Zostały one ujęte w Katalogu, który Instytut Geodezji i Kartografii przesłał do IFZ w celu wykorzystania przy wspólnym opracowywaniu wyników omawianych badań grawimetrycznych.

### 3. Zdjęcie grawimetryczne o charakterze półszczegółowym

Obszar pomierzony o powierzchni 50x25 km położony jest około 10 km na północ od portu Łeba na polskich wodach terytorialnych.

Cały obszar był podzielony na dwa odrębne poligony pokrywające się na granicach. Na każdym z tych poligonów prowadzono pomiary wzdłuż linii położonych w zasadzie równoległe do linii brzegowej w odległości wzajemnej 2 km, oraz wzdłuż linii przecinających, położonych południkowo w odległości 3 km jeden od drugiego. Oprócz tego przeprowadzono pomiary na dwóch profilach przecinających /8 i 24/ i dwukrotnie na profilach 1,2,8 i 21.

Ogółem pomiary przeprowadzono na 41 profilach pomiarowych łącznej długości 1100 km.

Pomiary morskie prowadzone były przez całą dobę. Całość prac w morzu wykonano w okresie 6 dób.

Przy opracowywaniu wyników wskazania grawimetrów uśredniono w ramach interwału 10-minutowego. W wyniku dokonanego uśrednienia ciągle pomiary grawimetryczne na morzu zidentyfikowano z punktami położonymi we wzajemnej odległości 2 km.

Większa część pomiarów na poligonie wykonana została przy sprzyjających warunkach meteorologicznych. Kąty przechyłów statku nie przekraczały  $2-3^{\circ}$ , zaś amplitudy przyspieszeń pionowych 10-20 gali. Około 30% ogólnej ilości pomiarów wykonano przy gorszej pogodzie, gdy przechyły statku wynosiły  $4-6^{\circ}$ , a amplitudy przyspieszeń pionowych - 100 gali. Wielkości przyspieszeń pionowych na każdym profilu, wyznaczone na podstawie zapisu grawimetru GAŁ-M nr 5, wykazano w załączeniu.

Opracowanie pomiarów prowadzono w następujący sposób.

Przy obliczeniach wartości różnic przyspieszenia siły ciężkości w poszczególnych punktach realizowano wzór:

$$\Delta g = K / m - m_w / + c \Delta t,$$

gdzie  $\Delta g$  - zmiana siły ciężkości między punktem mierzonym i punktem wyjściowym;

K - stała grawimetru /współczynnik/, mgal/mm;

m - uśrednione w interwale 10 minut wskazania grawimetru na punkcie morskim, mm;

$m_w$  - wskazanie instrumentu na punkcie wyjściowym /port Gdynia, moment 7 sierpnia 1972, godzina 12<sup>00</sup>/, mm;

c - wartość dobowego dryftu punktu zerowego, mgal/dobę;

$\Delta t$  - interwał czasu między obserwacjami na punkcie morskim i wyjściowym, doby;

W celu ułatwienia analizy pracy grawimetrów ich wskazania na każdym profilu pokazane zostały w formie graficznej. W przypadku wystąpienia dużych rozbieżności odpowiednie odcinki zapisu mierzone powtórnie, poprawiano lub wyrzucano. Na tej zasadzie wyłączone z dalszego opracowywania pomiary, wykonane przy użyciu grawimetru GAŁ-M nr 5 na profilu 5 /przy dużej fali/.

W dalszym etapie opracowania posługiwano się już wartościami średnimi

$$\Delta g'_{sr} = \frac{\Delta g_{GAŁ \text{ nr } 4} + \Delta g_{GAŁ \text{ nr } 5} + \Delta g_{TGG \text{ nr } 5}}{3},$$

do których wprowadzono wspólne dla trzech instrumentów poprawki

$$\Delta g_{sr} = \Delta g'_{sr} + \delta g_E + \delta g_\tau,$$

$$\delta g_E = 7,5 \cdot \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{t_2 - t_1} \cos^2 \varphi, \quad \delta g_\tau = \left( \frac{\Delta g}{\Delta t} \right) \tau,$$

gdzie

$\delta g_E$  - poprawka Eötvösa, mgal;

$\delta g_\tau$  - poprawka ze względu na opóźnienie wskazań grawimetru, mgal;

$\varphi, \lambda$  - współrzędne geograficzne punktu

$\left( \frac{\Delta g}{\Delta t} \right)$  - zmiana przyspieszenia siły ciężkości w czasie ruchu statku, mgal/min.;

$\tau$  - stała czasu /średnia wartość dla trzech grawimetrów/, min.

Na podstawie danych, zawartych w Katalogu współrzędnych punktów, obliczono poprawki Eötvösa metodą pływającej średniej w odstępach 10-minutowych z przyjęciem interwału uśredniania 20 minut.

Poprawki ze względu na opóźnienie wskazań grawimetrów wprowadzono w ten sposób, że przesunięto oś czasu na wykresach wartości  $\Delta g$  z poprawką Eötvösa o wielkość<sup>ści</sup> czasu, którą przyjęto za równą 4 min. Ze względu na to, że gradienty poziome przyspieszenia siły ciężkości w rejonie badanym nie przekraczały 4 mgal/km, dzięki przyjętej metodyce uniknięto dodatkowych błędów pomiarów.

Po uwzględnieniu poprawek  $\delta g_E$  i  $\delta g_\tau$  sporządzono wykresy profili grawimetrycznych  $\Delta g_{sr}$ , które stanowiły podstawę do dalszego opracowania. Dla profili mierzonych dwukrotnie /1 i 22, 2 i 23, 8 i 9 oraz 21 i 27/ wykresy uśredniono.

Na podstawie wykresów  $\Delta g_{sr}$  określone zostały wartości różnic przyspieszenia siły ciężkości w punktach węzłowych /punktach przecięć profili pomiarowych/ i przeprowadzone wyrównanie pomierzonego zdjęcia.

Wyrównanie przeprowadzono dwiema metodami.

Pierwsza metoda polegała na następującym. Punkty węzłowe przyjęto za podstawowe punkty sieci grawimetrycznej /jakby punkty pierwszego rzędu/. Dla punktów tych obliczano wartości średnie ważone wg wzoru

$$\Delta g_{wyr} = \frac{\Delta g_{sr_i} \cdot p_i + \Delta g_{sr_k} \cdot p_k}{p_i + p_k}$$

$$p_i = \frac{1}{\sum_i 2}$$

$$p_k = \frac{1}{\sum_k 2}$$

gdzie  $\Delta g_{sr_i}$  i  $\Delta g_{sr_k}$  - wartości  $\Delta g$  w punkcie węzłowym, otrzymane na podstawie profili "i" i "k"

- $p_i$  i  $p_k$  - wagi na odpowiednich profilach  
 $\sigma_i$  i  $\sigma_k$  - błędy średnie na profilach "i" oraz "k",  
obliczone na podstawie wewnętrznej zgodności wskazań trzech instrumentów na danych profilach.

W rejonach, w których gęstość punktów węzłowych była niewystarczająca, brano dodatkowe punkty na ciągu, rozmieszczone w odległości 2 km.

Wyrównanie odcinków profili pomiarowych, zawartych między punktami węzłowymi przeprowadzono graficznie, przy czym wartość różnicy przyspieszenia siły ciężkości na tym odcinku przyjęto za równą  $\Delta g_{\text{wyr}}$ . Następnie na podstawie wykresów wyznaczono wartości  $\Delta g$  wyrównane w poszczególnych punktach pośrednich.

Wyrównanie sieci grawimetrycznej przeprowadzono również metodą poligonową. Najbardziej prawdopodobne wartości w punktach wyznaczono metodą najmniejszych kwadratów, przy założeniu, żeby suma kwadratów niezamknięć w poligonach była minimalna. Wszelkie obliczenia przeprowadzono w Instytucie Geodezji i Kartografii w Warszawie, przy wyrównaniu na maszynie ODRA wykorzystano istniejące programy. Wyrównanie wykonano w dwóch wariantach. W pierwszym z nich wyrównanie punktów węzłowych i pośrednich przeprowadzono oddzielnie, a w drugim - łącznie.

Szkic wyrównania punktów węzłowych podano w załączeniu /zał. 2 /. W dalszym ciągu opracowania obserwacji grawimetrycznych wykorzystywano wyniki drugiego wariantu wyrównania.

Wartości przyspieszenia siły ciężkości oraz anomalie grawimetryczne obliczano według wzorów:

$$g = g_w + \Delta g_{\text{wyr.}}$$

$$A_F = g - g_0$$

$$A_B = g - \gamma_0 + \delta g_B, \quad \delta g_B = 0,0686 H \quad /dla \gamma = 2,67 g/cm^2/$$

gdzie

- $g_w$  - wartość przyspieszenia siły ciężkości w punkcie wyjściowym w porcie, mgal ;
- $\gamma_0$  - normalna wartość przyspieszenia siły ciężkości wg wzoru Helmerta z 1901 r. mgal ;
- $\delta g_B$  - redukcja Bouguera, mgal ;
- $H$  - głębokość morza, m;
- $A_F$  - anomalia Faye'a, mgal ;
- $A_B$  - anomalia Bouguera, mgal.

Wyniki opracowania pomierzonego zdjęcia grawimetrycznego, przeprowadzonego zgodnie z opisaną wyżej metodą, ujęte zostały w postaci "Katalogu anomalii grawimetrycznych południowej części Morza Bałtyckiego, pomierzonych w 1972 roku na statku "Jan Turlejski" oraz map grawimetrycznych.

Mapy te zostały opracowane w skali 1:200 000 w odwzorowaniu Merkatora w trzech wersjach:

mapy wartości  $g$ , mapy anomalii Faye'a i mapy anomalii Bouguera oraz map  $A_F$  i  $A_B$  w skali 1:50 000.

W celu dokonania oceny dokładności zdjęcia grawimetrycznego wykonano:

- 1/ porównanie wskazań instrumentów na każdym profilu pomiarowym,
- 2/ zestawienie powtórnych pomiarów na danym profilu,
- 3/ zestawienie wskazań instrumentów w punktach przecięć profili,
- 4/ porównanie wykonanego morskiego zdjęcia grawimetrycznego ze zdjęciami wykonanymi na lądzie.

W pierwszej kolejności obliczono więc błędy systematyczne i przypadkowe dla każdego instrumentu:

$$\sigma_{\text{syst.}} = \frac{\sum v}{n}, \quad \sigma_{\text{przyp.}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \sigma_{\text{syst.}})^2}{n-1}}$$

gdzie

$v$  - różnica między wskazaniem instrumentu i wartością średnią, mgal;

$n$  - ilość punktów na profilu

a także błędy przypadkowe, i systematyczne średniej ze wskazań instrumentów

$$\sigma_{\text{śr. przyp.}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (v_{ij} - \sigma_{\text{syst.}})^2}{n \cdot k / k - 1}}$$

$$\sigma_{\text{śr. syst.}} = \pm \sqrt{\frac{\sigma_{\text{syst. GAL-4}}^2 + \sigma_{\text{syst. GAL-5}}^2 + \sigma_{\text{syst. TGG nr 5}}^2}{k / k - 1}}$$

gdzie  $k$  - ilość instrumentów.

Następnie obliczono błąd średniej ze wskazań instrumentów

$$\sigma_{\text{śr}} = \pm \sqrt{\sigma_{\text{śr. syst.}}^2 + \sigma_{\text{śr. przyp.}}^2}$$

Poszczególne obliczone błędy wykazane zostały w załączniku 3.

Na podstawie wszystkich pomiarów, wykonanych w ramach zdjęcia Półszczygółowego otrzymano ogółem

$$\sigma_{\text{GAL nr 4}} = + 0,9 \pm 0,8 \text{ mgal}$$

$$\sigma_{\text{GAL nr 5}} = - 1,2 \pm 0,9 \text{ mgal}$$

$$\sigma_{\text{TGG nr 5}} = + 0,3 \pm 1,0 \text{ mgal}$$

$$\sigma_{\text{śr}} = \pm 0,9 \text{ mgal}$$

W ramach oceny dokładności wymienionej w punkcie 2, wyznaczono błędy pojedynczych spostrzeżeń i błędy średnich wyznaczone na podstawie pomiarów powtórnych:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v^2}{2n}}, \quad \sigma_{\text{sr}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v^2}{4n}},$$

gdzie  $v$  - różnica między pierwszym i powtórny pomiar  
 $n$  - ilość porównywanych punktów na profilu

Wyniki tych obliczeń podane zostały w załączniku 4.

Średnio na podstawie pomiarów, wykonanych na profilach 1-22, 2-23, 8-9 i 21-27 otrzymano:

$$\sigma = \pm 1,3 \text{ mgal}$$
$$\sigma_{\text{sr}} = \pm 0,9 \text{ mgal}$$

Następnie obliczono błędy pojedynczego spostrzeżenia w punktach przecięć profili

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum v}{2n}}$$

oraz błędy wyrównanych wartości w tych punktach.

Średnio dla wszystkich pomiarów wykonanych w obszarze zdjęcia pół-szczegółowego otrzymano

$$\sigma = \pm 1.4 \text{ mgal}$$

W wyniku przeprowadzonego wyrównania z wykorzystaniem ETO /omówionego poprzednio/, średni błąd pojedynczego spostrzeżenia na tym poligonie ma wartość

$$\sigma_{\text{wyr.}} = \pm 0,6 \text{ mgal}$$

Analiza zgodności wyników w punktach węzłowych wykazała, że na profilach 4, 14, 32 i 40, które pomierzone zostały przy niekorzystnych warunkach atmosferycznych /duże przyspieszenia i kąty przechyłu statku/, występują błędy systematyczne rzędu 5 miligali. Dlatego też do ostatecznego opracowania pomiary wykonane na profilach 4, 14 i 40 nie zostały włączone, zaś z pomiarów wykonanych na profilu 32 wyeliminowano błąd systematyczny. Opisana powyżej dokładność pomierzonego morskiego zdjęcia grawimetrycznego odpowiada warunkom wymaganym przy sporządzaniu map grawimetrycznych w skali 1:200 000 z cięciem izolinii 2,5 mgal. Mapy grawimetryczne opracowane dla obszaru omawianego zdjęcia umożliwiły dodatkową ocenę dokładności zdjęcia wykonanego w 1971 roku. Z dołączonego zestawienia /zał. 5 / widać, że na 50% obszaru błąd ten nie przekracza  $\pm 1$  mgal, na 29% obszaru -  $\pm 2$  mgal, na 20% obszaru -  $\pm 3$  mgal, a jedynie na 1,5% zaobserwować można większe rozbieżności, dochodzące do  $\pm 3-4$  mgal. Średni błąd obliczony na podstawie porównania wyników dla całego obszaru przy założeniu, że mapa opracowana na podstawie pomiarów wykonanych ze statku "Jan Turlejski" jest bezbłędna, wynosi  $\pm 1,5$  mgal.

#### 4. Pomiary w Zatoce Pomorskiej i na trasie między Gdynią i Świnoujściem

W celu wykonania zaplanowanych pomiarów grawimetrycznych w Zatoce Pomorskiej, należało przepłynąć<sup>w ten</sup> rejon z Gdyni, gdzie aparatura była instalowana. W czasie rejsu prowadzone były próbne pomiary grawimetryczne, jak również ustalano metodykę prowadzenia badań. Warunki do pomiarów były niesprzyjające, amplitudy przys-

pieszeń pionowych osiągały wartości 40-70 gali.

Prace w Zatoce Pomorskiej prowadzone były w dniach 27 i 28 lipca. Pierwszego dnia wykonano ciągły pomiar na poligonie /pętli/ długości 75 km. W czasie pomiarów stan morza wynosił 0. Następnego dnia pomiary powtórzono, ale przy znacznie gorszych warunkach. Amplitudy przyspieszeń pionowych osiągały wartości 30-40 gali.

W czasie rejsu Świnoujście - Gdynia /około 300 km/ wykonywano również pomiary grawimetryczne. Warunki były analogiczne, jak w czasie rejsu w odwrotnym kierunku.

Opracowanie wyników omawianych tu pomiarów przeprowadzano analogicznie jak poprzednio. Ciągłe pomiary grawimetryczne uśredniano w ramach interwałów 10-minutowych, otrzymując w rezultacie określone punkty, rozmieszczone w odległości 2-3 kilometrów od siebie. Pomiary próbne, przeprowadzone w czasie rejsu Gdynia-Świnoujście nie zostały uwzględnione w ostatecznym opracowaniu.

Oceny dokładności pomiarów w Zatoce Pomorskiej dokonano na podstawie zgodności wskazań grawimetrów na poszczególnych profilach oraz porównania wyników pomiarów, wykonywanych powtórnie na tych trasach.

Odnosnie pierwszej oceny, średnio na podstawie wszystkich pomiarów otrzymano

$$\sigma_{GA\text{Ł nr 4}} = -0,5 \pm 1,2 \text{ mgal},$$

$$\sigma_{GA\text{Ł nr 5}} = -0,4 \pm 1,2 \text{ mgal},$$

$$\sigma_{TGG \text{ nr 5}} = +0,9 \pm 1,2 \text{ mgal},$$

$$\sigma_{\text{śr}} = \pm 0,9 \text{ mgal}.$$

Z porównania wyników obydwu pomiarów widać, że istnieje między nimi różnica systematyczna 2-4 mgal. W opracowaniu końcowym przyjęto pierwszy pomiar za dobry ze względu na dobre warunki, w

jakich był wykonywany.

Ocenę dokładności pomiarów, wykonanych na trasie Gdynia -  
- Świnoujście, przeprowadzono na podstawie zgodności wskazań  
grawimetrów oraz porównania otrzymanych wyników z mapą grawime-  
tryczną, opracowaną na podstawie materiałów z pomiarów morskich,  
wykonanych w tym rejonie w 1971 roku. Otrzymano więc następujące  
błędy:

$$\sigma_{GAŁ \text{ nr } 4} = - 0,2 \pm 2,6 \text{ mgal}$$

$$\sigma_{GAŁ \text{ nr } 5} = - 0,1 \pm 2,3 \text{ mgal}$$

$$\sigma_{TGG \text{ nr } 5} = + 0,1 \pm 2,5 \text{ mgal}$$

$$\sigma_{\text{śr}} = \pm 1,6 \text{ mgal}$$

Z porównania wyników wykonanych pomiarów z mapą grawimetryczną  
/patrz wyżej/ widać /zał. 7 /, że wartości przyspieszenia siły  
ciężkości, otrzymane z pomiarów wykonanych ze statku " Jan  
Turlejski" są średnio o 2 mgal mniejsze od wartości otrzymanych  
na podstawie badań wcześniejszych. Wartość błędu przypadkowego  
pojedynczego pomiaru wynosi  $\pm 1,4$  mgal. Z opracowania ostatecz-  
nego wyeliminowano pomiar na profilu 3.3, wykonany przy bardzo  
niesprzyjających warunkach.

#### IV. Zakończenie

Wyniki wspólnych polsko-radzieckich badawczo-metodycznych prac  
grawimetrycznych, wykonanych w 1972 roku na Morzu Bałtyckim ze  
statku polskiego należy uznać za pozytywne.

Dokładność aparatury grawimetrycznej i utrzymania zadanego  
kursu statku, umożliwiające osiągnięcie dokładności  $\pm 0,6$  mgal  
określenia wartości przyspieszenia siły ciężkości, dokładność  
określenia współrzędnych punktów  $\pm 150$  m/ oraz opracowany i

zrealizowany program prowadzenia badań na morzu, pozwoliły na założenie sieci grawimetrycznej na morzu o gęstości 1 punkt na 5 km<sup>2</sup>.

Osiągnięte wyniki badań umożliwiły opracowanie dla rejonu badań map grawimetrycznych w skali 1:200 000 z cięciem 2,5 mgal zgodnie z wymaganiami stawianymi takim zdjęciom na lądzie.

Mapy te mogą być wykorzystywane nie tylko w zagadnieniach geodezyjnych, ale również stanowią materiał do interpretacji geologicznej przy poszukiwaniu złóż surowcowych.

Z punktu widzenia grawimetrycznych badań na morzu wykonane przez nas prace można uważać za duże osiągnięcie naukowe, nie mające w chwili obecnej odpowiednika w praktyce zagranicznej.

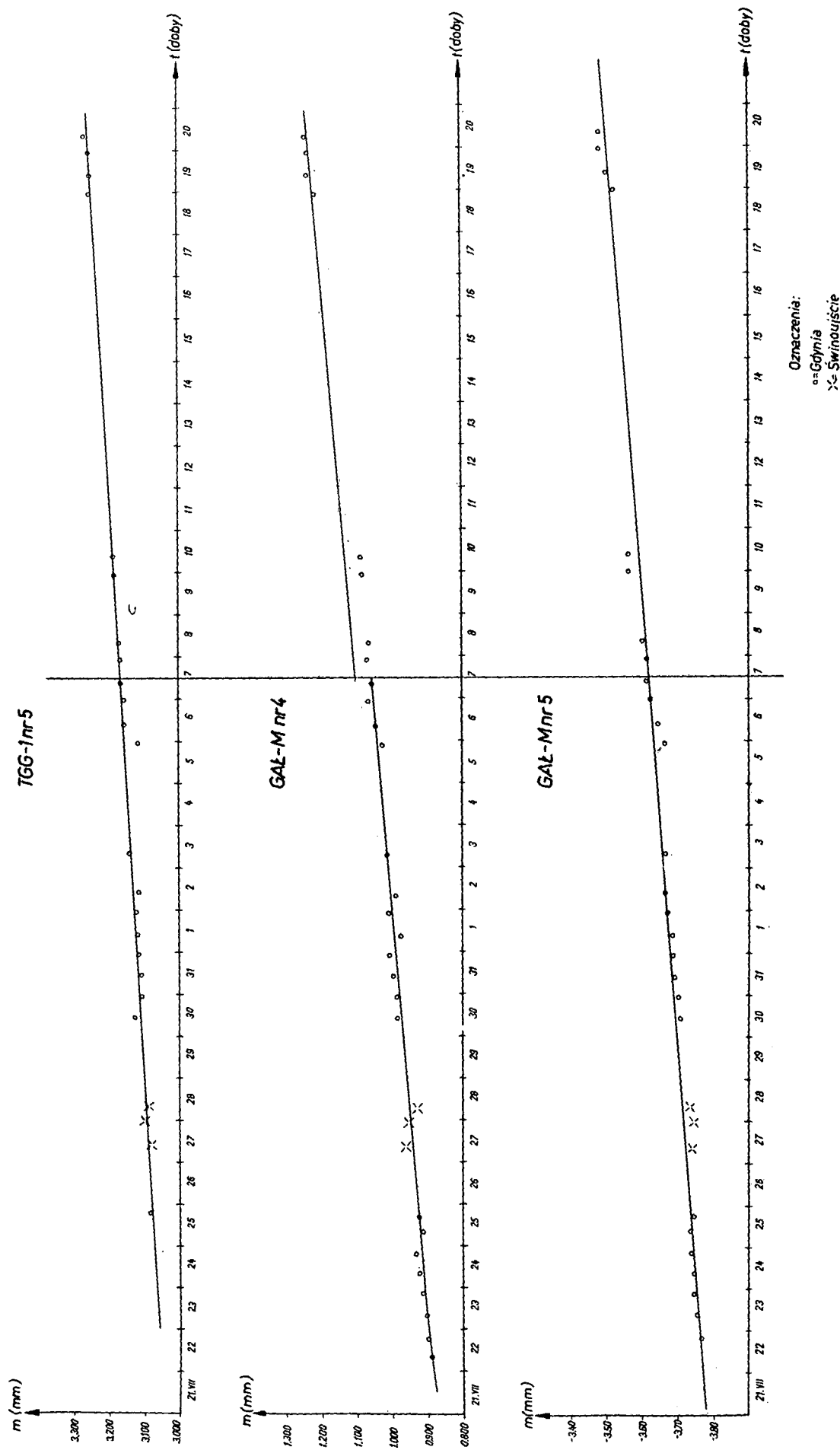
Opracowała

*O.Oty*  
mgr inż.D. Chowańska-Otyś

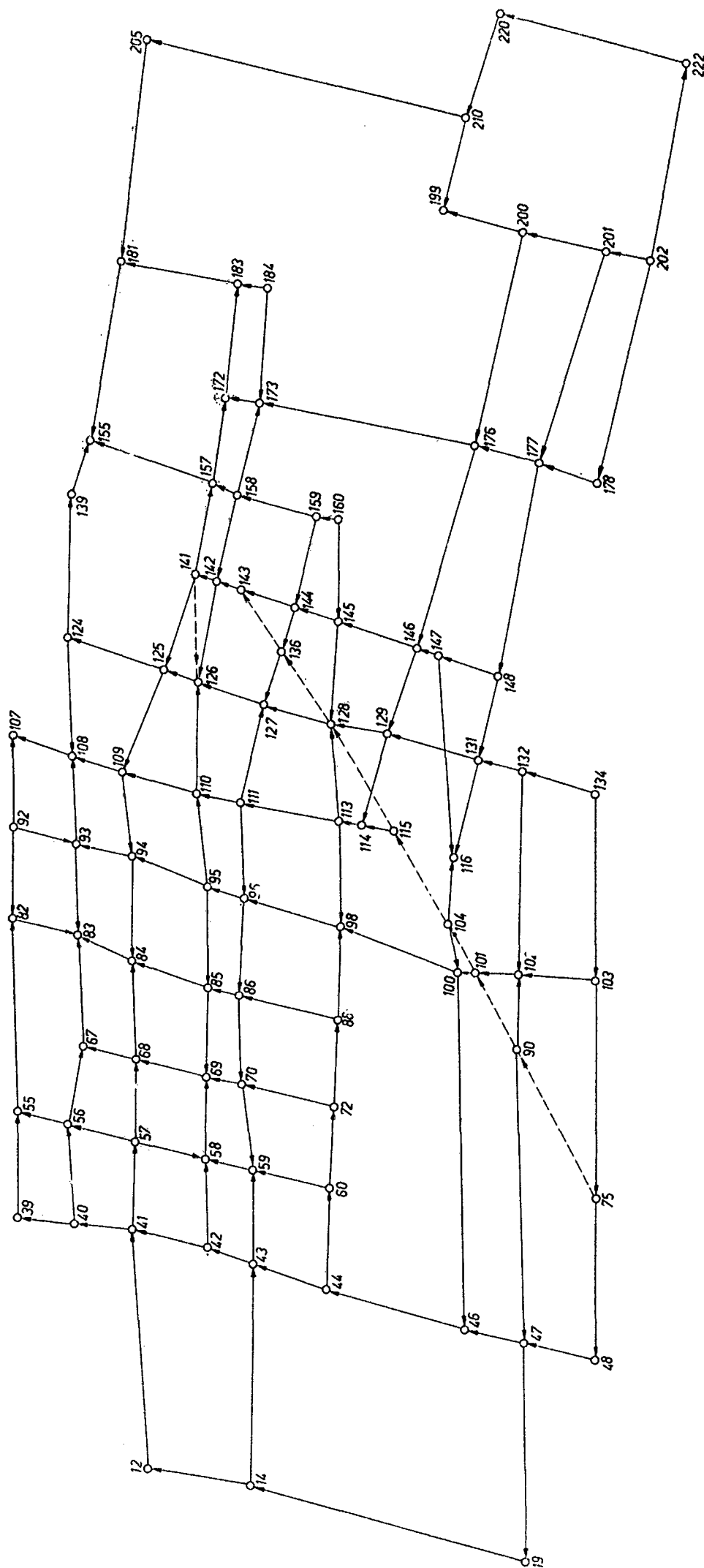
Warszawa, październik 1974 r.

*Jan B. K.*  
30.10.74

## CHÓD GRAWIMETRÓW MORSKICH w 1972 roku



**POLIGON ŁĘBA-ROZEWIE**  
Szkic punktów węzłowych do wyrównania na ETO



Warszawa 1973

Ocena dokładności pomiarów dokonana na podstawie  
zgodności wewnętrznej wskazań grawimetrów

| Nr<br>pro-<br>filu     | Data     | Z <sub>0</sub><br>gal | Błędy systema-<br>tyczne<br>/mgal/ |       |       | Błędy przypadkowe<br>/mgal/ |       |       | Błąd<br>średni |
|------------------------|----------|-----------------------|------------------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|----------------|
|                        |          |                       | GAŁ-4                              | GAŁ-5 | TGG-5 | GAŁ-4                       | GAŁ-5 | TGG-5 |                |
|                        |          |                       |                                    |       |       |                             |       |       |                |
| ZDJĘCIE PÓLSZCZEGÓŁOWE |          |                       |                                    |       |       |                             |       |       |                |
| 1                      | 11.08.72 | 8,2                   | -1,7                               | +0,5  | +1,1  | ±0,6                        | ±0,6  | ±0,8  | ± 0,5          |
| 2                      | "        | 8,1                   | -1,3                               | +0,5  | +0,8  | 0,7                         | 0,6   | 0,8   | 0,5            |
| 3                      | "        | 7,0                   | -0,5                               | +0,6  | -0,1  | 1,1                         | 0,6   | 0,8   | 0,6            |
| 4                      | 13.08.   | 35.2                  | +2,0                               | -3,3  | +1,3  | 1,1                         | 1,2   | 1,3   | 0,8            |
| 5                      | "        | 55.8                  | +0,8                               |       | -0,8  | 0,8                         |       | 0,8   | 0,8            |
| 6                      | "        | 17.6                  | +1,7                               | -1,9  | +0,2  | 0,6                         | 0,8   | 0,8   | 0,5            |
| 7                      | "        | 29.4                  | +1,5                               | -2.2  | +0,7  | 0,6                         | 0,9   | 1,0   | 0,6            |
| 8                      | "        | 7.0                   | +0.5                               | -1.5  | +1.1  | 1,2                         | 1,0   | 0,6   | 0,6            |
| 9                      | "        | 19.8                  | +2.3                               | -2.4  | +0.1  | 0,8                         | 1,3   | 1,5   | 0,8            |
| 10                     | 13-14.08 | 10.7                  | +1.3                               | -2.0  | +0.7  | 0,7                         | 0,7   | 1,0   | 0,5            |
| 11                     | 14.08.   | 18.1                  | +0.7                               | -1.5  | +0.7  | 0,7                         | 0,6   | 0,7   | 0,5            |
| 12                     | "        | 8.6                   | -0,6                               | -2.0  | +1.4  | 0,4                         | 0,4   | 0,5   | 0,3            |
| 13                     | "        | 21.2                  | +2.9                               | -2.1  | -0,8  | 1,3                         | 0,5   | 1,2   | 0,7            |
| 14                     | "        | 59.0                  | +3.4                               | -0.8  | -2.6  | 0,8                         | 1,0   | 1,2   | 0,7            |
| 15                     | "        | 31.4                  | +2.7                               | -3.7  | +1.1  | 1,3                         | 1,0   | 1,3   | 0,8            |
| 16                     | "        | 40.8                  | +1.4                               | -1.5  | +0.1  | 0,9                         | 0,9   | 1.4   | 0,7            |
| 17                     | "        | 21.9                  | +1.4                               | -1.4  | 0     | 0.5                         | 1.2   | 1.5   | 0,7            |
| 18                     | 15.08.   | 31.8                  | +0.7                               | -2.0  | +1.3  | 0.8                         | 0.8   | 1.2   | 0.6            |
| 19                     | "        | 21.9                  | +1.4                               | -2.4  | +1.0  | 0.4                         | 0.5   | 0.5   | 0.3            |
| 20                     | "        | 17.7                  | +0.2                               | -1.4  | +1.3  | 0.6                         | 0.4   | 0.6   | 0.3            |
| 21                     | "        | 11.8                  | +0.4                               | -1.8  | +1.4  | 1.1                         | 0.6   | 1.2   | 0,7            |
| 22                     | "        | 7.4                   | +0.1                               | -1.4  | +1.3  | 0.9                         | 0.7   | 0.6   | 0.5            |
| 23                     | "        | 8.1                   | -0.4                               | -0.6  | +1.1  | 0.5                         | 0.5   | 0.6   | 0.4            |
| 24                     | "        | 6.4                   | -0.4                               | -1.0  | +1.4  | 0.5                         | 0.3   | 0.7   | 0.4            |
| 25                     | 16.08.   | 43.0                  | +0.2                               | -3.7  | +3.5  | 1.1                         | 1.0   | 0.7   | 0.6            |
| 26                     | "        | 42.8                  | +1.8                               | -1.1  | -0.7  | 0.8                         | 1.3   | 0.8   | 0,7            |
| 27                     | "        | 43.1                  | +1.3                               | -1.8  | +0.5  | 1.3                         | 0.7   | 1.6   | 0.8            |
| 28                     | "        | 23.4                  | +1.1                               | -1.5  | +0.4  | 0.5                         | 1.1   | 0.9   | 0.6            |
| 29                     | "        | 25.5                  | +0.6                               | -1.0  | +0.4  | 0.8                         | 2.2   | 1.2   | 0.6            |
| 30                     | "        | 15.9                  | +0.9                               | -0.5  | -0.4  | 0.5                         | 0.5   | 0.3   | 0.3            |
| 31                     | 16-17.08 | 24.8                  | -0.4                               | +0.8  | -0.4  | 0.7                         | 0.9   | 1.2   | 0.6            |
| 32                     | 17.08.   | 11.7                  | +1.2                               | -0.6  | -0.5  | 0.6                         | 0.7   | 0.8   | 0.5            |
| 33                     | "        | 14.8                  | -0.4                               | +0.6  | -0.1  | 0.6                         | 1.0   | 1.0   | 0.6            |
| 34                     | "        | 15.6                  | +0.4                               | -0.3  | -0.1  | 0.4                         | 0.5   | 0.7   | 0.3            |
| 35                     | "        | 32.2                  | +0.9                               | -0.1  | -0.8  | 0.7                         | 0.7   | 1.0   | 0.6            |
| 36                     | "        | 25.5                  | +1.4                               | 0     | -1.3  | 1.0                         | 0.6   | 1.1   | 0.6            |
| 37                     | "        | 29.0                  | +0.9                               | -0.5  | -0.5  | 0.8                         | 0.8   | 0.9   | 0.6            |
| 38                     | "        | 21.2                  | -0.8                               | +1.2  | -0.3  | 0.9                         | 1.4   | 1.6   | 0.9            |
| 39                     | "        | 104.6                 | +2.8                               | -4.0  | +1.2  | 1.6                         | 2.1   | 1.0   | 1.1            |
| 40                     | "        | 20.2                  | 0                                  | +1.4  | -1.4  | 0.6                         | 1.6   | 1.2   | 0.8            |
| 41                     | 18.08.   | 84.5                  | +3.9                               | -1.5  | -2.3  | 1.0                         | 1.2   | 1.2   | 0.8            |
| Średnie                |          |                       | +0.9                               | -1.2  | +0.3  | ±0.8                        | ±0.9  | ±1.0  | ±0.6           |

Ocena dokładności pomiarów na podstawie  
zgodności wyznaczeń na profilach mierzonych  
dwukrotnie

| Czas  | Oznaczenia profili |    | Różnice $u$<br>mgal | $u^2$ |
|-------|--------------------|----|---------------------|-------|
| 9-40  | 1                  | 22 | -3,2                | 10,2  |
| 50    |                    |    | -3,2                | 10,2  |
| 10-00 |                    |    | -2,8                | 7,8   |
| 10    |                    |    | -2,4                | 5,8   |
| 20    |                    |    | -2,0                | 4,0   |
| 30    |                    |    | -1,0                | 1,0   |
| 40    |                    |    | -0,2                | 0     |
| 50    |                    |    | +0,4                | 0,2   |
| 11-00 |                    |    | +0,4                | 0,2   |
| 12-30 | 2                  | 23 | +1,0                | 1,0   |
| 40    |                    |    | +0,8                | 0,6   |
| 50    |                    |    | +0,4                | 0,2   |
| 13-00 |                    |    | 0                   | 0     |
| 10    |                    |    | -0,6                | 0,4   |
| 20    |                    |    | 0                   | 0     |
| 30    |                    |    | +2,0                | 4,0   |
| 40    |                    |    | +2,0                | 4,0   |
| 50    |                    |    | +1,8                | 3,2   |
| 14-00 |                    |    | +1,8                | 3,2   |
| 20-50 | 8                  | 9  | -1,4                | 2,0   |
| 21-00 |                    |    | -1,0                | 1,0   |
| 6-50  | 21                 | 27 | 0                   | 0     |
| 7-00  |                    |    | +2,4                | 5,8   |
| 10    |                    |    | +3,6                | 13,0  |
| 20    |                    |    | +3,4                | 11,6  |
| 30    |                    |    | +1,8                | 3,2   |

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum u^2}{2n}} = \pm \sqrt{\frac{92,6}{52}} = \pm 1,3 \text{ mgal}$$

Analiza błędów zdjęcia pomierzonego w 1971 roku  
w porównaniu ze zdjęciem półszczełowym, wykonanym  
w 1972 r.

| Nr | Przedział<br>błędu<br>mgal | Powierzchnia<br>S<br>cm <sup>2</sup> | $\frac{S_i}{\sum S}$ | Powierzchnia<br>%<br>% | Zakres<br>błędu<br>mgal | Powierzchnia<br>%<br>% | Błąd średni<br>mgal |
|----|----------------------------|--------------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|
| 1  | +/-3-4/                    | 4                                    | 0,015                | 1,5                    | 3-4                     | 1,5                    | ± 3,5               |
| 2  | +/-2-3/                    | 27                                   | 0,101                | 10,1                   | 2-3                     | 19,5                   | ± 2,5               |
| 3  | +/-1-2/                    | 36                                   | 0,136                | 13,6                   | 1-2                     | 28,6                   | ± 1,5               |
| 4  | +/-0-1/                    | 69                                   | 0,260                | 26,0                   | 0-1                     | 50,4                   | ± 0,5               |
|    |                            |                                      |                      | 51,2%                  |                         |                        |                     |
| 5  | -/-0-1/                    | 65                                   | 0,244                | 24,4                   |                         |                        |                     |
| 6  | -/-1-2/                    | 40                                   | 0,150                | 15,0                   |                         |                        |                     |
| 7  | -/-2-3/                    | 25                                   | 0,094                | 9,4                    |                         |                        |                     |
|    |                            |                                      |                      | 48,8%                  |                         |                        |                     |
|    | Razem                      | 266                                  | 1,000                | 100 %                  |                         | 100 %                  |                     |

Ocena dokładności pomiarów dokonana  
na podstawie zgodności wewnętrznej wskazań  
grawimetrów

| Nr<br>pro-<br>filu   | Data     | Z <sub>0</sub><br>gal | Błędy systema-<br>tyczne<br>/mgal/   |       |       | Błędy przypad-<br>kowe<br>/mgal/ |       |       | Błąd<br>średni |  |
|----------------------|----------|-----------------------|--------------------------------------|-------|-------|----------------------------------|-------|-------|----------------|--|
|                      |          |                       | GAŁ-4                                | GAŁ-5 | TGG-5 | GAŁ-4                            | GAŁ-5 | TGG-5 |                |  |
|                      |          |                       |                                      |       |       |                                  |       |       |                |  |
| ZATOKA POMORSKA      |          |                       |                                      |       |       |                                  |       |       |                |  |
| 2a.1                 | 27.07.72 | 5.0                   | -0.9                                 | -0.5  | +1.5  | ±0.6                             | ±0.9  | ±1.0  | ± 0.6          |  |
| 2a.3                 | "-       | 4.2                   | +1.0                                 | -1.5  | +0.6  | 0.5                              | 0.8   | 0.6   | 0.4            |  |
| 2b.1                 | 28.07.72 | 37.2                  | -1.9                                 | +1.2  | +1.4  | 1.7                              | 1.8   | 1.6   | 1.1            |  |
| 2b.3                 | "-       | 32.0                  | -0.3                                 | -0.7  | +1.0  | 1.9                              | 1.4   | 1.5   | 1.1            |  |
| Średnie              |          |                       | -0.5                                 | -0.4  | +1.1  | ±1.2                             | ±1.2  | ±1.2  | ± 0.8          |  |
| ŚWINOUJŚCIE - GDYNIA |          |                       |                                      |       |       |                                  |       |       |                |  |
| 3.1                  | 28-29.07 | 44.5                  | -0.8                                 | -0.1  | +0.8  | ±3.4                             | ±2.3  | ±3.1  | ± 2.3          |  |
| 3.2                  | 29.07    | -                     | +0.5                                 |       | -0.6  | 1.8                              |       | 1.8   | 1.8            |  |
| 3.3                  | 29.07    | 66.0                  | pracował jeden instrument GAŁ-M nr 4 |       |       |                                  |       |       |                |  |
| Średnie              |          |                       | -0.2                                 | -0.1  | +0.1  | ±2.6                             | ±2.3  | ±2.5  | ± 2.0          |  |