

GRAŻYNA KLOCH
Instytut Geodezji i Kartografii

JAN KRYŃSKI
Instytut Geodezji i Kartografii

**OCENA JAKOŚCI POPRAWEK TERENOWYCH „1992”
ORAZ ANALIZA ICH PRZYDATNOŚCI DO OBLICZENIA
POPRAWEK TERENOWYCH NA OBSZARZE POLSKI
SPEŁNIAJĄCYCH WYMAGANIA
CENTYMETROWEJ GEOIDY**

ZARYS TREŚCI: Poprawki terenowe „1992” były obliczone dla 27% stacji grawimetrycznych na terenie Polski przy wykorzystaniu pomiarów nachylenia terenu w bezpośrednim otoczeniu punktów grawimetrycznych (strefa wewnętrzna) oraz map topograficznych (strefa pośrednia i zewnętrzna) wewnątrz promienia 22.5 km wokół punktu grawimetrycznego. Niestety, nie zachowało się wiele materiału archiwalnego. Z nielicznymi wyjątkami zachowały się jedynie sumaryczne wartości poprawek terenowych na punktach grawimetrycznych, tj. suma składowych z trzech stref obliczeniowych.

Ze względu na niską rozdzielczość danych wysokościowych użytych do obliczeń poprawek terenowych „1992”, ograniczenie promienia obliczania poprawek terenowych do 22.5 km wokół punktu grawimetrycznego oraz używanie różnych algorytmów i zapewne różnych standardów jakości poprawek terenowych „1992” odbiega od wymagań stawianych przy modelowaniu geoidy o centymetrowej dokładności.

Autorzy niniejszej pracy podjęli próbę odpowiedzi na pytanie, czy wykorzystanie poprawek terenowych „1992” w całości lub w formie odtworzonych ich składowych wewnętrznych może podnieść jakość obliczanych na nowo poprawek terenowych na obszarze Polski spełniających wymagania dokładnościowe modelowania centymetrowej geoidy. W badaniach polegających na analizie wyników testów numerycznych wykorzystano udostępnione przez Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych materiały archiwalne zawierające składowe poprawki terenowych z poszczególnych stref obliczeniowych dla 3327 punktów obiektu Babia Góra ze zdjęcia grawimetrycznego dla tematu Karpaty Zachodnie 1975.

W pierwszej kolejności przeprowadzono badania mające na celu ustalenie relacji między poprawkami terenowymi „1992” i poprawkami terenowymi z materiałów archiwalnych PBG. Następnie analizowano możliwość obliczenia składowej poprawki terenowej w strefie wewnętrznej przy użyciu modelu terenu

DTED2 o rozdzielczości 1" × 1" oraz możliwość odtworzenia składowej poprawki terenowej w strefie wewnętrznej jako różnicy między wartością poprawki terenowej z bazy danych grawimetrycznych i sumą odtworzonych wartości składowych poprawki terenowej w strefach zewnętrznej i pośredniej. Dokonano oceny wpływu rodzaju wysokości stacji grawimetrycznej (wysokość z niwelacji lub z mapy topograficznej) na wielkość składowej poprawki terenowej w strefie pośredniej i zewnętrznej. Przebadano również wpływ rozdzielczości użytego modelu terenu na wielkość składowej poprawki terenowej w strefie pośredniej i zewnętrznej oraz wpływ rozdzielczości użytego modelu terenu na wielkość całkowitej poprawki terenowej w promieniu 22.5 km.

Słowa kluczowe: poprawka terenowa, numeryczny model terenu, rozdzielczość, modelowanie geoidy

1. WPROWADZENIE

W grawimetrycznej bazie danych dla Polski, utworzonej w latach 1974–1992 przez Państwowy Instytut Geologiczny, tylko część stacji grawimetrycznych miała wyznaczone wartości poprawek terenowych (zbiór poprawek terenowych „1992”). Poprawki terenowe do przyspieszenia siły ciężkości obliczono wówczas tylko dla tych stacji grawimetrycznych, dla których nachylenie terenu w promieniu 100 m przekracza 6° (Królikowski, 2006). Odstępstwa topografii od płyty Bouguera stacji grawimetrycznej uwzględniane były w promieniu do 22.5 km przy wykorzystaniu pomiarów wykonanych pochyłomierzem w bezpośrednim otoczeniu punktów grawimetrycznych oraz map topograficznych.

Obliczenia poprawek terenowych „1992” dla każdego punktu grawimetrycznego wykonywano niezależnie w trzech strefach. Ogólny opis specyfikujący wymiary stref, użyte dane oraz metody wykorzystane do obliczenia odpowiednich składowych poprawki terenowej podano w pracy (Królikowski, 2006). Według Królikowskiego w strefie wewnętrznej o promieniu 100 m składową poprawkę terenową obliczano na podstawie obserwacji kątów nachylenia (upadu) terenu przy użyciu kołowego diagramu Lukavtchenki (Lukavtchenko, 1951; Fajkiewicz, 1980). W strefie pośredniej o promieniu od 100 m do 1500 m składową poprawkę terenową obliczano metodą Kane’a (Kane, 1962) na podstawie wysokości z map topograficznych w skali 1:25 000, uśrednionych w kwadratach 200 m × 200 m. Składową poprawkę terenową w strefie zewnętrznej o promieniu od 1.5 km do 22.5 km obliczano metodą Botta (Bott, 1959), wykorzystując średnie wysokości w kwadratach 1 km × 1 km.

Ocena jakości poprawek terenowych „1992”, a w szczególności próba odtworzenia składowych poprawek terenowych ze strefy wewnętrznej wymagają bardziej szczegółowej informacji o ich sposobie obliczenia.

A więc w strefie wewnętrznej kąty upadu terenu, na podstawie których obliczano składową poprawkę terenową, mierzono najczęściej w ośmiu kierunkach (dla niektórych punktów pomiar wykonywano dla mniejszej liczby

kierunków) i w pięciu odległościach od punktu grawimetrycznego. Niestety, z zachowanych szkiców polowych nie wynika w jakich odległościach od punktu grawimetrycznego były wykonywane pomiary upadu terenu. Można jedynie przypuszczać, że były to odległości 20, 40, 60, 80 i 100 m. Być może jednak pomiary były wykonywane zgodnie z diagramem Lukavtchenki, tj. w odległościach 2, 10, 20, 50 i 100 m.

W strefie pośredniej składowe poprawki terenowych były obliczane metodą prostopadłościanów. Wykorzystywano do tego celu prostopadłościany o podstawie $200\text{ m} \times 200\text{ m}$. Dla każdego arkusza mapy topograficznej w skali 1:25 000 tworzono siatkę o rozdzielczości 200 m. Jako wysokość prostopadłościanu przyjmowano wartość odczytaną z mapy dla środkowego punktu kwadratu $200\text{ m} \times 200\text{ m}$. Jako wysokość punktu obliczeniowego (grawimetrycznego) przyjmowano wyznaczoną z niwelacji wysokość z bazy danych grawimetrycznych.

Przy obliczaniu składowej poprawki terenowej w strefie zewnętrznej stosowano metodę prostopadłościanów, przyjmując wyznaczoną z niwelacji wysokość z bazy danych grawimetrycznych jako wysokość punktu obliczeniowego (grawimetrycznego).

Poprawki terenowe „1992” obliczane były sukcesywnie w miarę opracowywania poszczególnych półszeregów zdjęć grawimetrycznych, wykonywanych w latach 1958–1989. Do ich obliczenia stosowano co najmniej dwa różne algorytmy. Nie ma pewności, że tych samych wymiarów stref używano przy liczeniu wszystkich poprawek terenowych. Niestety, nie zachowało się wiele materiału archiwalnego. Z nielicznymi wyjątkami zachowały się jedynie sumaryczne wartości poprawek terenowych na punktach grawimetrycznych, tj. suma składowych z trzech stref wewnątrz promienia 22.5 km wokół punktu grawimetrycznego.

Korzystanie z danych wysokościowych o niskiej rozdzielczości ($200\text{ m} \times 200\text{ m}$ w strefie pośredniej i $1000\text{ m} \times 1000\text{ m}$ w strefie zewnętrznej) przy obliczeniach poprawek terenowych „1992” podyktowane było w głównej mierze względami praktycznymi, wynikającymi z ówczesnych możliwości obliczeniowych oraz z konieczności generowania wysokości w procesie ręcznego cyfrowania map topograficznych. Podobnie względy praktyczne stały za ograniczeniem promienia obliczania poprawek terenowych do 22.5 km wokół punktu grawimetrycznego. Użycie jednolitego algorytmu i standardów obliczeniowych, wykorzystanie modelu terenu o wysokiej rozdzielczości oraz przedłużenie promienia, a tym samym rozszerzenie obszaru uwzględnianej wokół punktu grawimetrycznego topografii roją nadzieje uzyskania poprawek terenowych o wyższej jakości. Jednocześnie zachodzi pytanie, czy wykorzystanie poprawek terenowych „1992” w całości lub w formie odtworzonych ich składowych wewnętrznych może podnieść jakość obliczanych na nowo poprawek terenowych spełniających wymagania dokładnościowe modelowania centymetrowej geoidy.

Poprawki terenowe obliczono po raz pierwszy dla wszystkich punktów grawimetrycznych geologicznej bazy danych grawimetrycznych w 2005 r. w ra-

mach projektu badawczego zamawianego PBZ-KBN-081/T12/2002 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych (Kryński, 2007a). Obliczenia przeprowadzono przy wykorzystaniu numerycznych modeli terenu DTED2 i SRTM (Kryński i in., 2005) w promieniu 200 km wokół punktu grawimetrycznego z użyciem gęstości 2.67 g/cm^3 . Z porównania obliczonych poprawek terenowych „2005” z odpowiednimi 288 507 poprawkami terenowymi „1992” (Grzyb i in., 2006; Kryński, 2007b) wynika, że 31.1% różnic nie przekracza 0.1 mGal, zaś 57.8% różnic – 0.3 mGal.

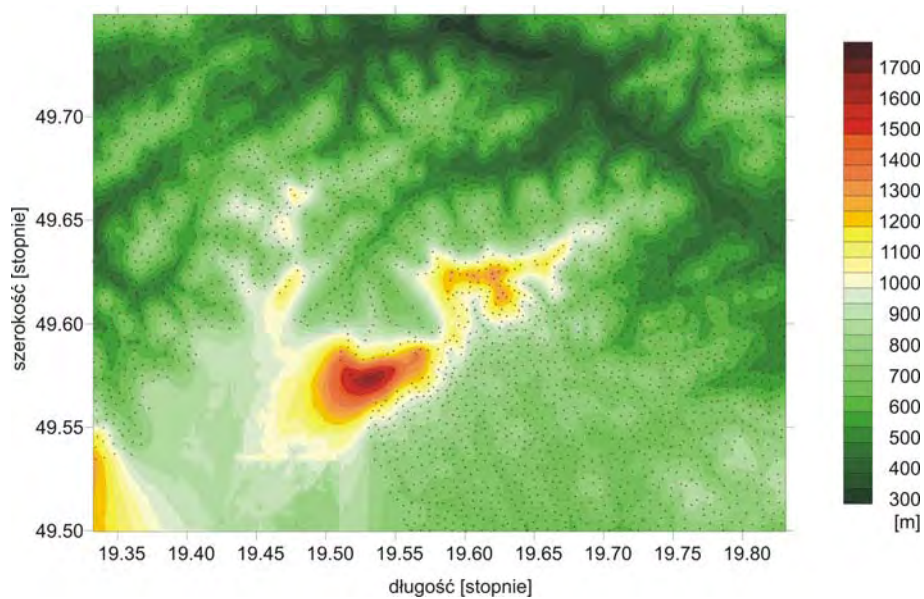
2. DANE ARCHIWALNE

W materiałach archiwalnych w Przedsiębiorstwie Badań Geofizycznych dla kilku zaledwie zdjęć grawimetrycznych zachowały się częściowe wyniki pośrednie obliczeń poprawek terenowych, a mianowicie składowe poprawki z poszczególnych stref. Jednym z obiektów, dla których zachowały się takie składowe, jest obiekt Babia Góra, wchodzący w skład zdjęcia grawimetrycznego dla tematu Karpaty Zachodnie 1975. Obiekt ten obejmuje 3327 punktów znajdujących się na terenie ograniczonym równoleżnikami $49.50^\circ - 49.75^\circ \text{N}$ i południkami $19.33^\circ - 19.83^\circ \text{E}$. Promienie stref wewnętrznej, pośredniej i zewnętrznej, dla których obliczone były w punktach grawimetrycznych tego obiektu składowe poprawki terenowych, wynoszą odpowiednio 100 m, 1500 m i 22.5 km. Wielkości poprawek terenowych w punktach tego obiektu o silnie zróżnicowanej topografii (rys. 1) cechują się znacznym zróżnicowaniem i osiągają wartości sięgające 30 mGal (rys. 2). Obiekt Babia Góra został zatem wybrany do dokonania oceny jakości poprawek terenowych „1992” oraz do analizy możliwości odtworzenia składowych poprawek terenowych ze strefy wewnętrznej.

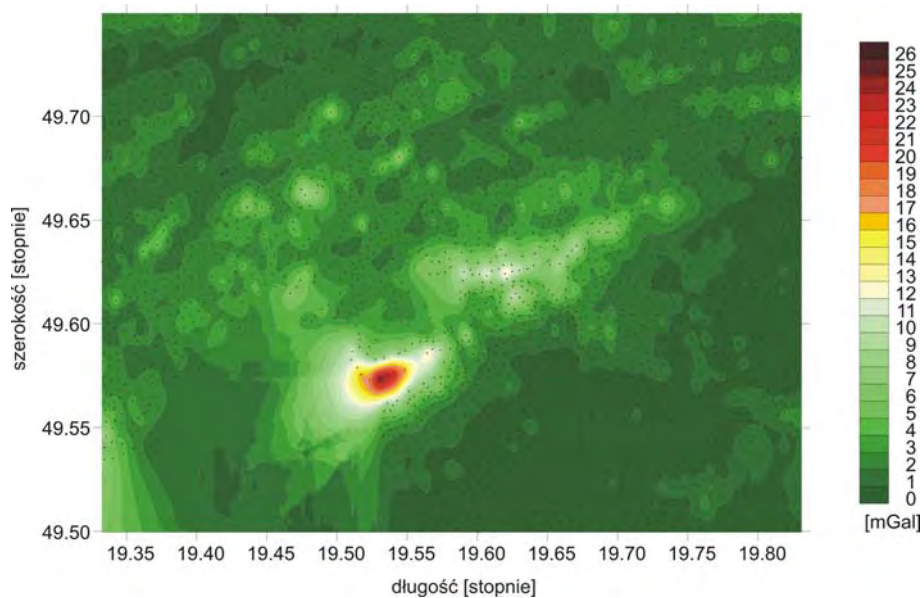
Wartość całkowitej poprawki terenowej z materiałów archiwalnych PBG obiektu Babia Góra różni się od wartości odpowiedniej poprawki terenowej zamieszczonej w bazie danych grawimetrycznych. Można zauważyć, że stosunek tych dwóch wartości odpowiadających sobie poprawek jest wielkością stałą, co wskazywałoby na to, że poprawki terenowe z materiałów archiwalnych PBG badanego obiektu obliczono dla innej gęstości warstwy litosfery nad poziomem morza niż poprawki terenowe w bazie danych grawimetrycznych.

Zgodnie z opublikowaną informacją na temat poprawek terenowych (Królikowski, 2006) wszystkie poprawki terenowe w Karpatach liczone dla stałej gęstości 2.55 g/cm^3 . Z informacji uzyskanej od pana Zochniaka – pracownika archiwum PBG – wynika natomiast, że dla wszystkich obszarów górskich wartości poprawek terenowych były liczone dla gęstości 2.67 g/cm^3 . Z kolei zdaniem pani Polechońskiej, która przygotowywała w PIG udostępnianą IGiK bazę danych grawimetrycznych, nie dokonywano w PIG żadnych przeliczeń poprawek terenowych do innej gęstości. Stwierdza się zatem brak wiarygodnej informacji na temat wartości gęstości przyjętych do obliczenia

poprawek terenowych dostępnych w archiwum i w bazie danych grawimetrycznych.



Rys. 1. Rzeźba terenu w obiekcie Babia Góra



Rys. 2. Mapa archiwalnych poprawek terenowych PBG w obiekcie Babia Góra

W celu znalezienia współczynnika przeliczeniowego pomiędzy poprawkami terenowymi z bazy danych grawimetrycznych (PIG) i z materiałów archiwalnych obiektu Babia Góra (PBG) dla wszystkich punktów obiektu wyznaczono stosunek poprawki terenowej PIG do poprawki terenowej PBG. Statystyki tak wyznaczonego przelicznika przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Statystyki współczynnika przeliczeniowego pomiędzy poprawkami terenowymi z bazy danych grawimetrycznych (PIG) i z materiałów archiwalnych obiektu Babia Góra (PBG)

Min	Max	Średnia	Odch. std.
0.4243	2.5408	1.0212	0.0437

Według informacji zawartych w biuletynie PIG, przy opracowaniu komputerowego zbioru danych grawimetrycznych stosowano kilka różnych wartości gęstości warstwy litosfery nad poziomem morza (Królikowski, 2006). Anomalie Bouguera liczono przy zastosowaniu trzech różnych wartości gęstości, tj. 2.25 g/cm^3 , 2.60 g/cm^3 i 2.67 g/cm^3 . Gęstość 2.25 g/cm^3 , charakteryzującą utwory kenozoiczne na Nizinie Polskiej, przyjmowano tradycyjnie we wszystkich mapach anomalii Bouguera wykorzystywanych przy interpretacji danych grawimetrycznych. Gęstość 2.60 g/cm^3 przyjmowano za reprezentatywną na obszarach górzystych, zaś gęstość 2.67 g/cm^3 jest powszechnie przyjmowana jako średnia gęstość górnej warstwy skorupy ziemskiej do redukcji w mapach anomalii Bouguera o charakterze przeglądowym. Dodatkowo, jak już sygnalizowano, dla gęstości 2.55 g/cm^3 liczono poprawki terenowe w Karpatach.

Korzystając z czterech wymienionych wartości gęstości, można utworzyć sześć par, takich, że wzajemny stosunek gęstości w parach jest bliski empirycznie wyznaczonej średniej wartości współczynnika przeliczeniowego 1.0212 (tab. 1):

$$\begin{aligned}
 2.67 / 2.60 &= 1.0269 & 2.67 / 2.55 &= 1.0471 & 2.67 / 2.25 &= 1.1867 \\
 \mathbf{2.60 / 2.55} &= \mathbf{1.0196} & 2.60 / 2.25 &= 1.1556 & & \\
 2.55 / 2.25 &= 1.1333 & & & &
 \end{aligned}$$

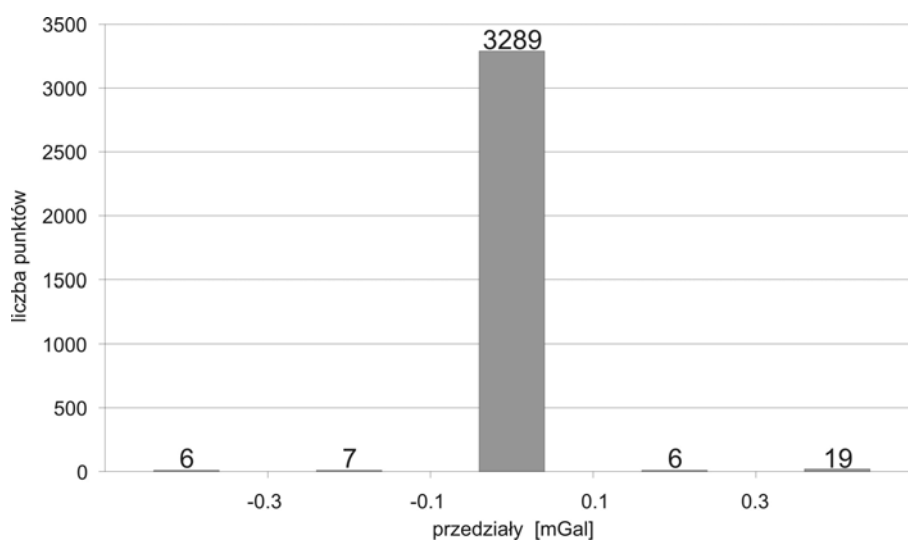
Do średniej tej najbliższy jest stosunek gęstości 2.60 do 2.55. Odpowiadałoby to sytuacji, że poprawki terenowe znajdujące się w materiałach archiwalnych PBG zostały wyznaczone dla gęstości 2.55 g/cm^3 , natomiast w bazie danych grawimetrycznych PIG poprawki te przeliczono do gęstości 2.60 g/cm^3 , czyli takiej, jaka była wykorzystywana do wyznaczania anomalii Bouguera na terenach górskich.

Poprawki terenowe z materiałów archiwalnych obiektu Babia Góra zostały następnie przeliczone przy wykorzystaniu współczynnika 1.0196, co odpowiada przeliczeniu od gęstości 2.55 g/cm^3 do gęstości 2.60 g/cm^3 , i porównane z odpo-

wiednimi poprawkami terenowymi z bazy danych grawimetrycznych. Statystyki różnic między poprawkami terenowymi z bazy danych grawimetrycznych PIG i przeliczonymi poprawkami terenowymi z materiałów archiwalnych PBG przedstawiono w tabeli 2, zaś histogram tych różnic – na rysunku 3.

Tabela 2. Statystyki różnic między poprawkami terenowymi z bazy danych (PIG) i przeliczonymi poprawkami terenowymi z materiałów archiwalnych obiektu Babia Góra (PBG) [mGal]

Min	Max	Średnia	Odch. std.
-3.408	3.773	0.003	0.119



Rys. 3. Histogram różnic między poprawkami terenowymi z bazy danych (PIG) i przeliczonymi poprawkami terenowymi z materiałów archiwalnych obiektu Babia Góra (PBG)

Z histogramu na rysunku 3 wynika, że zaledwie dla 38 punktów (co stanowi niewiele ponad 1% wszystkich badanych punktów obiektu Babia Góra) różnice między poprawkami terenowymi z bazy danych (PIG) i przeliczonymi do gęstości 2.60 g/cm^3 poprawkami terenowymi z materiałów archiwalnych PBG przekraczają 0.1 mGal. Przyczyną przeważającej większości tych różnic są błędy rachunkowe w sumowaniu wartości składowych poprawek terenowych w materiałach archiwalnych PBG.

3. TESTY NUMERYCZNE

3.1. Obliczenie składowej poprawki terenowej w strefie wewnętrznej przy użyciu modelu DTED2

Obliczenia poprawek terenowych w niniejszej pracy wykonano przy użyciu programów pakietu GRAVSOFT (Forsberg, 2005). Pierwszym testem numerycznym, jaki został przeprowadzony, było wyznaczenie składowych poprawek terenowych w strefie wewnętrznej w punktach grawimetrycznych obiektu Babia Góra przy użyciu wysokości z numerycznego modelu terenu DTED2 o rozdzielczości $1'' \times 1''$. Poprawki terenowe obliczono dla dwóch gęstości: 2.55 g/cm^3 oraz 2.67 g/cm^3 . Tak wyznaczone składowe poprawek terenowych porównano z odpowiednimi składowymi poprawek terenowych z materiałów archiwalnych wyznaczonymi na podstawie pomiaru kątów upadu terenu. W ten sposób powstały różniące się wyłącznie użytą gęstością litosfery dwa zbiory różnic składowych poprawek terenowych:

- a1) zbiór zawierający różnice między składowymi poprawek terenowych w strefie wewnętrznej z materiałów archiwalnych PBG i odpowiednimi składowymi wyznaczonymi na podstawie modelu terenu o rozdzielczości $1'' \times 1''$ przy użyciu gęstości 2.67 g/cm^3 ;
- a2) zbiór zawierający różnice między składowymi poprawek terenowych w strefie wewnętrznej z materiałów archiwalnych PBG i odpowiednimi składowymi wyznaczonymi na podstawie modelu terenu o rozdzielczości $1'' \times 1''$ przy użyciu gęstości 2.55 g/cm^3 .

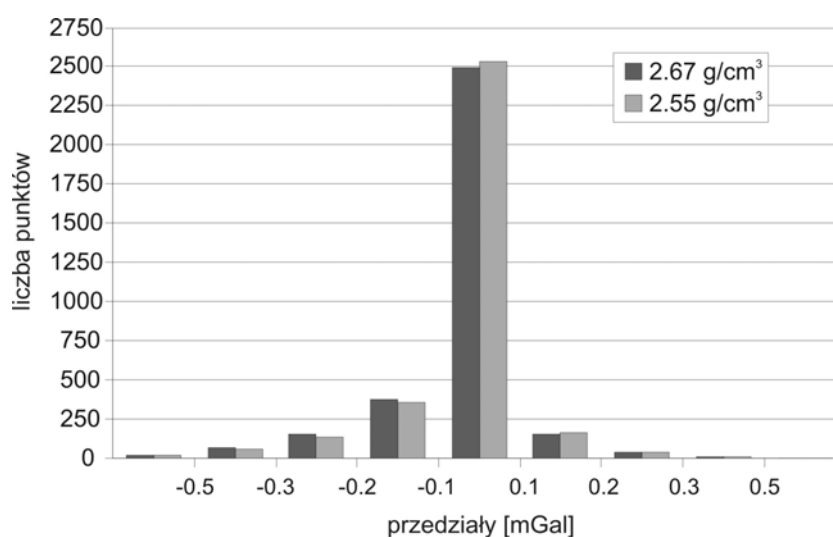
Statystyki różnic zawartych w tych zbiorach przedstawiono w tabeli 3, zaś ich histogram – na rysunku 4.

Tabela 3. Statystyki różnic między składowymi poprawek terenowych w strefie wewnętrznej z materiałów archiwalnych PBG i odpowiednimi składowymi wyznaczonymi na podstawie modelu terenu o rozdzielczości $1'' \times 1''$ przy użyciu gęstości 2.67 g/cm^3 lub 2.55 g/cm^3

Zbiór	Gęstość [g/cm ³]	Min [mGal]	Max [mGal]	Średnia [mGal]	Odch. std. [mGal]
a1	2.67	-0.883	0.611	-0.037	0.113
a2	2.55	-0.831	0.620	-0.031	0.109

Nieznacznie lepiej prezentują się statystyki w przypadku użycia gęstości 2.55 g/cm^3 do wyznaczania poprawek terenowych. Może to sugerować potwierdzenie hipotezy, że poprawki terenowe znajdujące się w materiałach archiwalnych obiektu Babia Góra zostały obliczone przy wykorzystaniu gęstości 2.55 g/cm^3 .

Przyczyną zawartych w obu wygenerowanych zbiorach różnic, które w niewielkim stopniu zależą od użytej gęstości, są błędy w określeniu położenia punktów grawimetrycznych oraz niedostateczna rozdzielczość numerycznego modelu terenu użytego do odtworzenia składowej poprawki terenowej w strefie wewnętrznej.

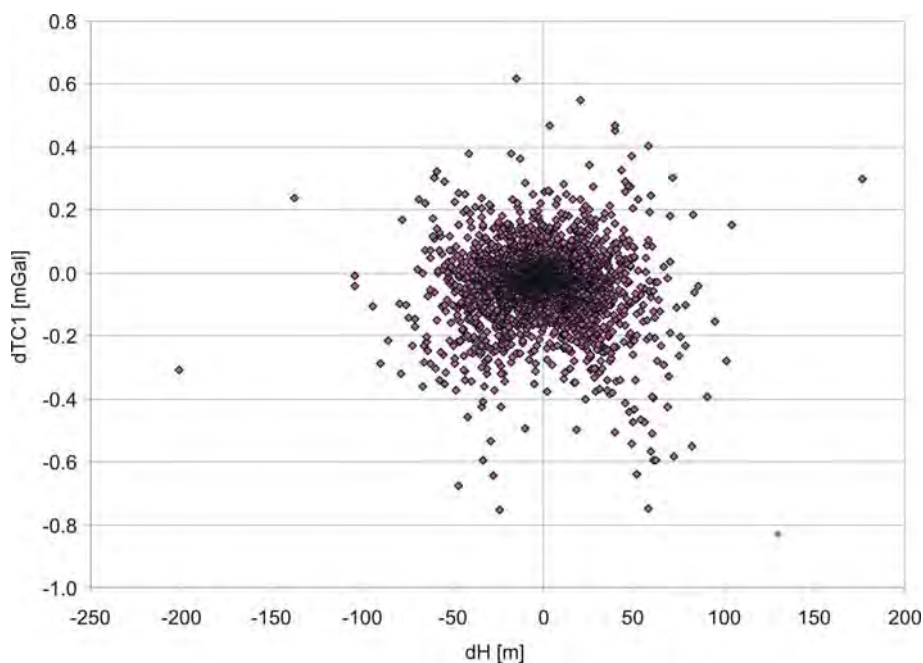


Rys. 4. Histogram różnic między składowymi poprawkami terenowymi w strefie wewnętrznej z materiałów archiwalnych PBG i odpowiednimi składowymi wyznaczonymi na podstawie modelu terenu o rozdzielczości 1" × 1" przy użyciu gęstości 2.67 g/cm³ lub 2.55 g/cm³

Wartość składowej poprawki w strefie wewnętrznej można odtworzyć przy użyciu gęstości 2.55 g/cm³ z dokładnością 0.1 mGal dla 76% punktów z badanego obiektu, natomiast z dokładnością 0.3 mGal – dla 97% punktów. Należy mieć na uwadze, że wartości składowych poprawek terenowych z materiałów archiwalnych PBG mogą być obciążone błędami obliczeniowymi oraz błędami wynikającymi z braków pomiaru kątów upadu terenu we wszystkich kierunkach. Warto dodać, że wśród punktów, dla których różnica między składową poprawką terenową z materiałów archiwalnych PBG i odtworzoną składową poprawką przekroczyła 0.1 mGal, 15.6% stanowią punkty, dla których w materiałach archiwalnych nie podano wartości składowej poprawki w strefie wewnętrznej i w analizach założono, że była ona równa zero.

Każdemu punktowi grawimetrycznemu bazy danych grawimetrycznych przypisana jest wysokość wyznaczona przy użyciu niwelacji technicznej z dokładnością ±4 cm (Kryński, 2007b). Jednocześnie dla każdego punktu grawimetrycznego można określić jego wysokość z numerycznego modelu terenu, posługując się współrzędnymi tego punktu, wyznaczonymi z map topograficznych z bardzo dużym błędem, przekraczającym niekiedy kilkaset

metrów. Błąd ten, szczególnie w rejonach o silnie zróżnicowanej topografii, może być przyczyną znacznych różnic między pomierzoną i obliczoną z modelu terenu wysokością punktu grawimetrycznego. Zależność między różnicami składowych poprawek terenowych z materiałów archiwalnych PBG i odpowiednimi składowymi poprawkami terenowymi obliczonymi przy wykorzystaniu numerycznego modelu terenu DTED2 oraz gęstości 2.55 g/cm^3 a różnicą między wysokością punktu grawimetrycznego wyznaczoną z niwelacji i wysokością uzyskaną na podstawie numerycznego modelu terenu DTED2 przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Zależność między różnicami dTC1 składowych poprawek terenowych z materiałów archiwalnych PBG w strefie wewnętrznej i odpowiednimi składowymi poprawkami terenowymi obliczonymi przy wykorzystaniu numerycznego modelu terenu oraz gęstości 2.55 g/cm^3 a różnicą dH między wysokością punktu grawimetrycznego wyznaczoną z niwelacji i wysokością uzyskaną na podstawie numerycznego modelu terenu DTED2

Z rysunku 5 wynika, że błąd odtworzenia wartości składowej poprawki w strefie wewnętrznej nie jest ściśle zależny od dokładności, z jaką na podstawie numerycznego modelu terenu możemy odtworzyć wartość wysokości punktu wyznaczoną z niwelacji.

3.2. Obliczenie składowej poprawki terenowej w strefie wewnętrznej jako różnicy między wartością poprawki terenowej z grawimetrycznej bazy danych i sumą odtworzonych wartości składowych poprawki terenowej w strefach zewnętrznej i pośredniej

Nie zachowały się materiały obserwacyjne dotyczące pomiarów kątów upadu na punktach grawimetrycznych, na podstawie których obliczano w PBG składową poprawkę terenową w strefie wewnętrznej. Również z nielicznymi wyjątkami nie zachowały się materiały zawierające dane wykorzystywane do obliczenia składowych poprawki terenowej w strefach zewnętrznej i pośredniej.

Celem kolejnych testów numerycznych przeprowadzonych na danych z obiektu Babia Góra było sprawdzenie, z jaką dokładnością można na podstawie całkowitej wartości poprawki terenowej z bazy danych grawimetrycznych oraz odtworzonej (przy zachowaniu jak najbardziej zbliżonych warunków) wartości składowych poprawek terenowych w strefie pośredniej i zewnętrznej wyznaczyć wartość poprawki w strefie wewnętrznej.

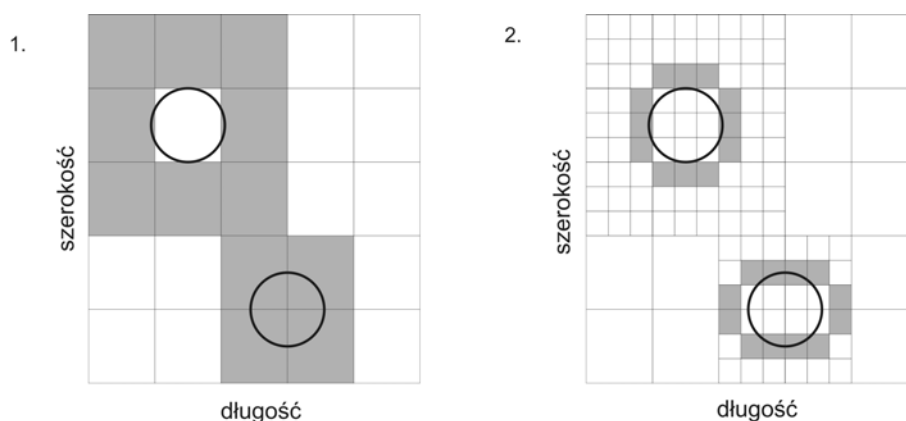
3.2.1. Odtworzenie składowych poprawki terenowej w strefach zewnętrznej i pośredniej

Celem, jaki przyświecał testom numerycznym, było znalezienie optymalnej metody odtwarzania składowych poprawek terenowych w strefach zewnętrznej i pośredniej.

Pierwszym etapem pracy było wygenerowanie numerycznych modeli terenu, które jak najwierniej odpowiadałyby siatkom stosowanym w PBG do wyznaczania składowych poprawek w strefach zewnętrznej i pośredniej. Jako odpowiednik używanej w PBG siatki $200\text{ m} \times 200\text{ m}$ przyjęto siatkę o rozdzielczości $6'' \times 10''$ (co odpowiada $180\text{ m} \times 200\text{ m}$). Przyjęto również, że siatka wykorzystywana w strefie zewnętrznej (w PBG używano siatki $1000\text{ m} \times 1000\text{ m}$) była pięciokrotnie rzadsza i jej rozdzielczość została określona jako $30'' \times 50''$ (co odpowiada $900\text{ m} \times 1000\text{ m}$). Do wygenerowania siatek o rozdzielczościach $6'' \times 10''$ i $30'' \times 50''$ wykorzystano model terenu DTED2 o rozdzielczości $1'' \times 1''$. Utworzono dwie siatki o rozdzielczości $6'' \times 10''$: jedną poprzez punktowe rozrzedzenie modelu DTED2, drugą zaś poprzez uśrednienie wysokości z DTED2. Utworzono również dwie siatki o rozdzielczości $30'' \times 50''$. Pierwsza z nich powstała w wyniku uśredniania numerycznego modelu DTED2 o rozdzielczości $1'' \times 1''$, druga zaś w procesie uśredniania modelu $6'' \times 10''$ utworzonego poprzez rozrzedzanie punktowe modelu DTED2.

Brak jest dokumentacji wyjaśniającej sposób wyznaczania znajdujących się w materiałach archiwalnych PBG składowych poprawek terenowych na wewnętrznej granicy stref, tj. granicy między strefą wewnętrzną i pośrednią w przypadku obliczania składowej poprawki terenowej w strefie pośredniej i granicy między strefą pośrednią i zewnętrzną w przypadku obliczania składowej poprawki terenowej w strefie zewnętrznej. Do wyznaczania

składowych poprawek terenowych w strefie pośredniej i zewnętrznej zastosowano zatem dwa podejścia (rys. 6). Pierwsze podejście (1) polegało na zastosowaniu bezpośrednio modelu o konkretnej rozdzielczości, tj. $6'' \times 10''$ w strefie pośredniej i $30'' \times 50''$ w strefie zewnętrznej, co przejawiało się tym, że granica wyznaczania składowych poprawek terenowych często drastycznie odbiegała od granicy ze znajdującą się wewnątrz strefą. W drugim podejściu (2) w najbliższym otoczeniu punktu obliczeniowego numeryczny model terenu był dodatkowo zagęszczany, dzięki czemu granica wyznaczania składowych poprawek terenowych zbliżyła się do granicy ze znajdującą się wewnątrz strefą.



Rys. 6. Schemat ilustrujący koncepcje dwóch podejść wyznaczania składowych poprawek terenowych w obszarze granicznych stref w dwóch krańcowych przypadkach położenia punktu grawimetrycznego względem węzła siatki

W testach numerycznych do wyznaczania składowych poprawek terenowych zastosowano dwie wartości gęstości: 2.67 g/cm^3 i 2.55 g/cm^3 . Jako wysokość punktu obliczeniowego przyjmowano wysokość niwelacyjną.

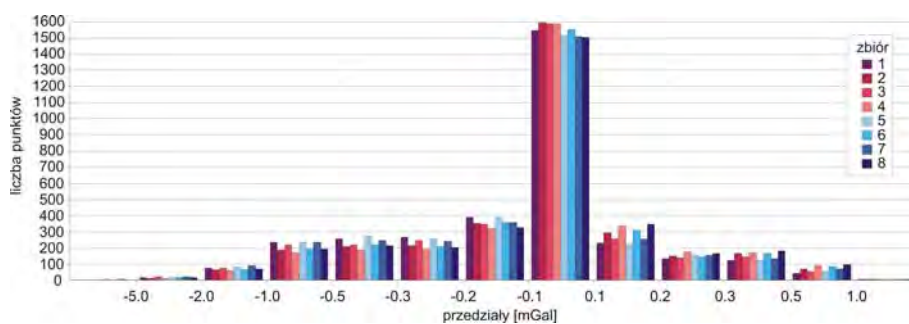
Wartości składowych poprawek terenowych w strefach pośredniej i zewnętrznej obliczone na punktach grawimetrycznych obiektu Babia Góra dla każdej strefy w 8 wersjach wyspecyfikowanych odpowiednio w tabelach 4 i 5 porównano następnie ze znajdującymi się w materiałach archiwalnych PBG odpowiednimi wartościami składowych poprawek dla każdej z tych stref. Statystyki uzyskanych różnic przedstawiono odpowiednio w tabelach 4 i 5, zaś ich histogramy – na rysunkach 7 i 8.

Ze statystyk przedstawionych w tabeli 4, jak również z prezentowanego na rysunku 7 histogramu wynika, że poprawki obliczone przy wykorzystaniu gęstości 2.55 g/cm^3 są znacząco bliższe poprawkom archiwalnym PBG niż te obliczone przy użyciu gęstości 2.67 g/cm^3 . Lepiej prezentuje się również statystyka różnic poprawek dla wykorzystania siatki uzyskanej poprzez rozrzedzanie punktowe. Większe zbliżenie w wynikach uzyskano również,

stosując pierwszą metodę postępowania na granicy stref, tj. bez dodatkowego zagęszczania modelu terenu w najbliższym otoczeniu punktu obliczeniowego.

Tabela 4. Statystyki różnic między składowymi poprawek terenowych w strefie pośredniej uzyskanymi z PBG i odpowiednimi składowymi poprawek terenowych obliczonymi w 8 wersjach (zbiory b1–b8) przy wykorzystaniu siatki o rozdzielczości $6'' \times 10''$

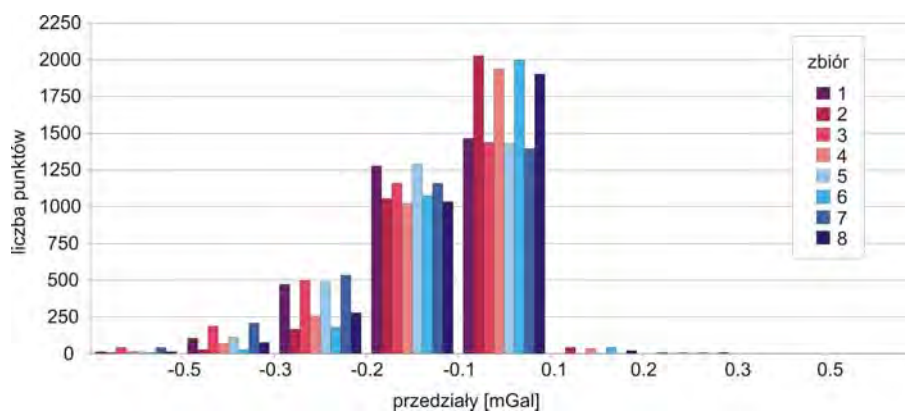
Zbiór	Typ rozrzedzenia siatki $1'' \times 1''$	Metoda postępowania na granicy	Gęstość $[\text{g}/\text{cm}^3]$	Min [mGal]	Max [mGal]	Średnia [mGal]	Odch. std. [mGal]
b1	punktowy	1	2.67	-6.109	1.357	-0.123	0.412
b2			2.55	-5.762	1.412	-0.074	0.387
b3		2	2.67	-6.202	1.426	-0.104	0.415
b4			2.55	-5.816	1.478	-0.055	0.390
b5	uśredniony	1	2.67	-6.144	1.373	-0.123	0.425
b6			2.55	-5.783	1.428	-0.074	0.399
b7		2	2.67	-6.218	1.429	-0.116	0.442
b8			2.55	-5.831	1.481	-0.067	0.415



Rys. 7. Histogram różnic między składowymi poprawek terenowych w strefie pośredniej uzyskanymi z PBG i odpowiednimi składowymi poprawek terenowych obliczonymi w 8 wersjach (zbiory b1–b8) przy wykorzystaniu siatki o rozdzielczości $6'' \times 10''$

Tabela 5. Statystyki różnic między składowymi poprawek terenowych w strefie zewnętrznej uzyskanymi z PBG i odpowiednimi składowymi poprawek terenowych obliczonymi w 8 wersjach (zbiory c1–c8) przy wykorzystaniu siatki o rozdzielczości 30" × 50"

Zbiór	Siatka 30" × 50" z uśrednienia	Metoda postępowania na granicy	Gęstość [g/cm ³]	Min [mGal]	Max [mGal]	Średnia [mGal]	Odch. std. [mGal]
c1	1" × 1"	1	2.67	-0.672	3.266	-0.122	0.109
c2			2.55	-0.574	3.319	-0.079	0.101
c3		2	2.67	-1.299	3.293	-0.134	0.129
c4			2.55	-0.765	3.345	-0.090	0.112
c5	6" × 10"	1	2.67	-0.662	3.267	-0.124	0.109
c6			2.55	-0.564	3.320	-0.081	0.101
c7		2	2.67	-1.239	3.295	-0.138	0.130
c8			2.55	-0.760	3.347	-0.094	0.112



Rys. 8. Histogram różnic między składowymi poprawek terenowych w strefie zewnętrznej uzyskanymi z PBG i odpowiednimi składowymi poprawek terenowych obliczonymi w 8 wersjach (zbiory c1–c8) przy wykorzystaniu siatki o rozdzielczości 30" × 50"

Z analizy statystyk przedstawionych w tabeli 5, a w szczególności z histogramu na rysunku 8 wynika, że zastosowanie gęstości 2.55 g/cm³ zamiast 2.67 g/cm³ powoduje dużą różnicę w obliczonej składowej poprawki terenowej w strefie zewnętrznej. Da się również zaobserwować, że pierwsze z opisanych

wcześniej postępowań na granicy stref daje lepsze efekty w odtworzeniu wartości składowej poprawki terenowej w strefie zewnętrznej.

Z analizy przeprowadzonych testów numerycznych jednoznacznie wynika, że najlepsze wyniki w odtworzeniu wartości składowych poprawek terenowych w strefie pośredniej oraz zewnętrznej uzyskuje się zarówno w przypadku strefy pośredniej, jak i zewnętrznej, stosując postępowanie przyjęte do opracowania zbiorów b2 (tab. 4) i c2 (tab. 5), tj. w strefie pośredniej – wykorzystanie siatki o rozdzielczości $6'' \times 10''$ uzyskanej metodą rozrzedzania punktowego, przy zastosowaniu pierwszej z metod postępowania na granicy ze strefą wewnętrzną oraz przy użyciu gęstości 2.55 g/cm^3 , zaś w strefie zewnętrznej – wykorzystanie siatki o rozdzielczości $30'' \times 50''$ uzyskanej metodą rozrzedzania poprzez uśrednianie siatki o rozdzielczości $1'' \times 1''$, przy zastosowaniu pierwszej z metod postępowania na granicy ze strefą pośrednią oraz przy użyciu gęstości 2.55 g/cm^3 . Zbiory b2 i c2 zostały wykorzystane w następnych testach numerycznych.

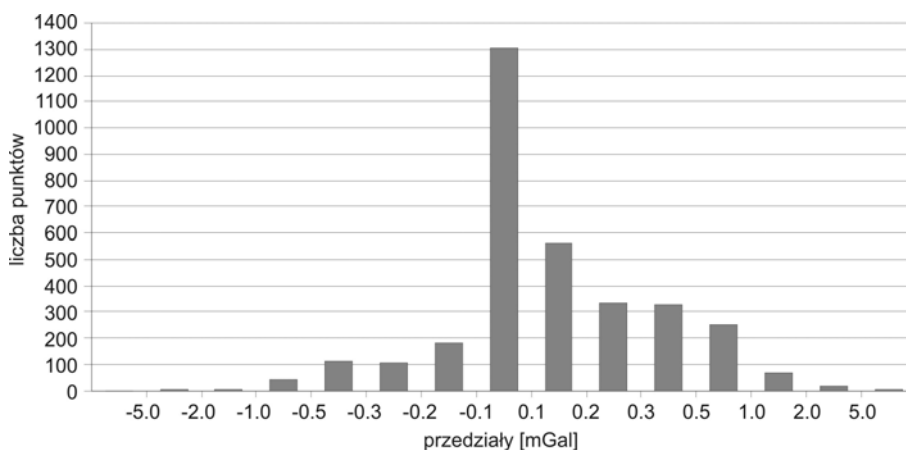
3.2.2. Odtworzenie składowej poprawki terenowej w strefie wewnętrznej

Składowa poprawki terenowej w strefie wewnętrznej została odtworzona jako różnica między całkowitą poprawką terenową z materiałów archiwalnych PBG obiektu Babia Góra i sumą wyznaczonych w poprzednich testach i umieszczonych w zbiorach b2 i c2 składowych poprawek terenowych w strefie pośredniej oraz zewnętrznej. Odtworzona w ten sposób składowa poprawki terenowej w strefie wewnętrznej we wszystkich punktach obiektu Babia Góra została porównana z odpowiednią składową poprawką terenowej w strefie wewnętrznej z materiałów archiwalnych PBG, wyznaczoną na podstawie pomiarów terenowych kątów upadu terenu. Statystyki otrzymanych różnic przedstawiono w tabeli 6, zaś histogram tych różnic – na rysunku 9.

Tabela 6. Statystyki różnic między składowymi poprawkami terenowymi w strefie wewnętrznej z materiałów archiwalnych PBG obiektu Babia Góra wyznaczonymi z pomiarów terenowych kątów upadu terenu i odpowiednimi odtworzonymi składowymi poprawkami terenowymi w strefie wewnętrznej [mGal]

Min	Max	Średnia	Odch. std.
-2.719	5.895	0.153	0.399

Z przeprowadzonej analizy wynika, że jedynie dla 39% punktów badanego obiektu wartość składowej poprawki terenowej w strefie wewnętrznej udało się odtworzyć z dokładnością 0.1 mGal, a dla 75% z dokładnością 0.3 mGal. Wyniki poprzednich testów numerycznych, podsumowane w tabeli 3 i na rysunku 4, wskazują, że w obiekcie Babia Góra, korzystając z numerycznego modelu terenu DTED2 o rozdzielczości $1'' \times 1''$, można odtworzyć składową poprawkę terenowej w strefie wewnętrznej z materiałów archiwalnych PBG z dokładnością 0.1 mGal dla 76% punktów, natomiast z dokładnością 0.3 mGal – dla 97% punktów.



Rys. 9. Histogram różnic między składowymi poprawek terenowych w strefie wewnętrznej z materiałów archiwalnych PBG obiektu Babia Góra wyznaczonymi z pomiarów terenowych kątów upadu terenu i odpowiednimi odtworzonymi składowymi poprawek terenowych w strefie wewnętrznej

3.3. Ocena wpływu rodzaju wysokości stacji grawimetrycznej (wysokość z niwelacji lub z mapy topograficznej) na wielkość składowej poprawki terenowej w strefie pośredniej i zewnętrznej

Przy liczeniu znajdujących się w materiałach archiwalnych PBG składowych poprawek terenowych w strefie pośredniej i zewnętrznej wysokości prostopadłościów wyznaczone z map topograficznych odnoszono do wyznaczonej z niwelacji wysokości punktu grawimetrycznego. Powyższa niespójność stanowi źródło błędów w obliczanej składowej poprawki terenowej. Błąd ten może osiągać znaczące wartości w przypadkach sięgających kilkuset metrów błędów wyznaczenia pozycji punktu grawimetrycznego, w szczególności na terenach górzystych.

Celem kolejnych testów numerycznych było określenie wielkości błędów wyznaczenia składowych poprawek terenowych w strefie pośredniej i zewnętrznej wynikającego z użycia wysokości wyznaczonej z niwelacji zamiast wysokości odczytanej z mapy topograficznej.

W pierwszej kolejności dla punktów grawimetrycznych obiektu Babia Góra zbadano wpływ użycia wysokości uzyskanej na podstawie numerycznego modelu terenu zamiast wysokości wyznaczonej z niwelacji na wartość poprawki w strefie pośredniej. Wyznaczono dwa zbiory składowych poprawek terenowych: d1) zbiór składowych poprawek terenowych w strefie pośredniej wyznaczonych przy użyciu modelu terenu o rozdzielczości $6'' \times 10''$, uzyskany metodą

rozzrzedzania punktowego, przy zastosowaniu pierwszego podejścia do wyznaczeń na granicy oraz gęstości 2.55 g/cm^3 ; jako wysokość punktu obliczeniowego stosowano wysokość wyznaczoną z niwelacji;

d2) zbiór składowych poprawek terenowych w strefie pośredniej wyznaczonych przy użyciu modelu terenu o rozdzielczości $6'' \times 10''$, uzyskany metodą rozrzędzania punktowego, przy zastosowaniu pierwszego podejścia do wyznaczeń na granicy oraz gęstości 2.55 g/cm^3 ; jako wysokość punktu obliczeniowego stosowano wysokość uzyskaną na podstawie numerycznego modelu terenu;

i obliczono różnice między odpowiadającymi sobie składowymi w zbiorze d1 oraz d2. Statystyki otrzymanych różnic przedstawiono w tabeli 7.

Tabela 7. Statystyki różnic między składowymi poprawek terenowych w strefie pośredniej obliczonymi dla wysokości stacji grawimetrycznej wyznaczonej z niwelacji i wysokości uzyskanej na podstawie numerycznego modelu terenu dla obiektu Babia Góra [mGal]

Min	Max	Średnia	Odch. std.
-1.211	6.582	0.185	0.467

Podobnie dla obiektu Babia Góra zbadano wpływ zastosowania wysokości uzyskanej na podstawie numerycznego modelu terenu zamiast wysokości wyznaczonej z niwelacji na wartość poprawki w strefie zewnętrznej. Wyznaczono dwa zbiory składowych poprawek terenowych:

e1) zbiór składowych poprawek terenowych w strefie zewnętrznej wyznaczonych przy użyciu modelu terenu o rozdzielczości $30'' \times 50''$, uzyskany metodą uśredniania z modelu o rozdzielczości $1'' \times 1''$, przy zastosowaniu pierwszego podejścia do wyznaczeń na granicy oraz gęstości 2.55 g/cm^3 ; jako wysokość punktu obliczeniowego przyjęto wysokość wyznaczoną z niwelacji;

e2) zbiór składowych poprawek terenowych w strefie zewnętrznej wyznaczonych przy użyciu modelu terenu o rozdzielczości $30'' \times 50''$, uzyskany metodą uśredniania z modelu o rozdzielczości $1'' \times 1''$, przy zastosowaniu pierwszego podejścia do wyznaczeń na granicy oraz gęstości 2.55 g/cm^3 ; jako wysokość punktu obliczeniowego przyjęto wysokość uzyskaną na podstawie numerycznego modelu terenu;

i obliczono różnice między odpowiadającymi sobie składowymi w zbiorze e1 oraz e2. Statystyki otrzymanych różnic przedstawiono w tabeli 8.

Tabela 8. Statystyki różnic między składowymi poprawek terenowych w strefie zewnętrznej obliczonymi dla wysokości stacji grawimetrycznej wyznaczonej z niwelacji i wysokości uzyskanej na podstawie numerycznego modelu terenu dla obiektu Babia Góra [mGal]

Min	Max	Średnia	Odch. std.
-2.097	2.198	0.017	0.167

Różnice w składowych poprawek terenowych w strefie pośredniej, jak również i zewnętrznej, wynikające z zastąpienia wartości wysokości stacji grawimetrycznej odczytanej z mapy topograficznej (lub obliczonej z numerycznego modelu terenu) wartością wysokości wyznaczoną z niwelacji, osiągają w obiekcie Babia Góra znaczące wartości. Zgodnie z przewidywaniami efekt ten jest silniejszy w strefie pośredniej niż w strefie zewnętrznej. Przy liczeniu składowych poprawek terenowych w strefie pośredniej i zewnętrznej z przeznaczeniem do precyzyjnego modelowania geoidy, z uwagi na duże błędy wyznaczenia pozycji stacji grawimetrycznych w geologicznej bazie danych grawimetrycznych, za wysokość stacji grawimetrycznej należy przyjąć wysokość określoną z numerycznego modelu terenu.

3.4. Ocena wpływu rozdzielczości użytego modelu terenu na wielkość składowej poprawki terenowej w strefie pośredniej i zewnętrznej

Kolejne testy numeryczne miały na celu zbadanie wpływu użytego modelu terenu, a w szczególności jego rozdzielczości na wielkość składowej poprawki terenowej w strefie pośredniej i zewnętrznej, w tym ocenę zastosowania tak silnie rozrzedzonej siatki wysokościowej, począwszy już od odległości 100 m od punktu obliczeniowego. Dla obiektu Babia Góra badano różnice między wartościami składowych poprawek terenowych w strefie pośredniej i w strefie zewnętrznej pochodzącymi z materiałów archiwalnych PBG i obliczonymi przy wykorzystaniu modelu terenu DTED2 o rozdzielczości 1" × 1".

Dla strefy pośredniej otrzymano dwa zbiory składowych poprawek terenowych:

- f1) zbiór składowych poprawek terenowych w strefie pośredniej, pochodzących z materiałów archiwalnych PBG;
- f2) zbiór składowych poprawek terenowych w strefie pośredniej obliczonych przy użyciu modelu terenu DTED2 o rozdzielczości 1" × 1", przyjęciu jako gęstości wartości 2.55 g/cm³ oraz użyciu jako wysokości punktu obliczeniowego wysokości uzyskanej na podstawie numerycznego modelu terenu.

Statystyki różnic między odpowiadającymi składowymi poprawek terenowych uzyskanymi w zbiorze f1 oraz f2 przedstawiono w tabeli 9.

Tabela 9. Statystyki różnic między składowymi poprawek terenowych w strefie pośredniej, pochodzącymi z materiałów archiwalnych PBG, i odpowiednimi składowymi poprawek terenowych obliczonymi przy użyciu modelu terenu DTED2 o rozdzielczości 1" × 1" oraz wysokości punktu obliczeniowego uzyskanej na podstawie numerycznego modelu terenu dla obiektu Babia Góra [mGal]

Min	Max	Średnia	Odch. std.
-3.797	2.205	0.125	0.311

Podobnie dla strefy zewnętrznej otrzymano dwa zbiory składowych poprawek terenowych:

- g1) zbiór składowych poprawek terenowych w strefie zewnętrznej, pochodzących z materiałów archiwalnych PBG;
- g2) zbiór składowych poprawek terenowych w strefie zewnętrznej obliczonych przy użyciu modelu terenu DTED2 o rozdzielczości 1" × 1", przyjęciu jako gęstości wartości 2.55 g/cm³ oraz użyciu jako wysokości punktu obliczeniowego wysokości uzyskanej na podstawie numerycznego modelu terenu.

Statystyki różnic między odpowiadającymi składowymi poprawek terenowych uzyskanymi w zbiorze g1 oraz g2 przedstawiono w tabeli 10.

Tabela 10. Statystyki różnic między składowymi poprawek terenowych w strefie zewnętrznej, pochodzącymi z materiałów archiwalnych PBG i odpowiednimi składowymi poprawek terenowych obliczonymi przy użyciu modelu terenu DTED2 o rozdzielczości 1" × 1" oraz wysokości punktu obliczeniowego uzyskanej na podstawie numerycznego modelu terenu dla obiektu Babia Góra [mGal]

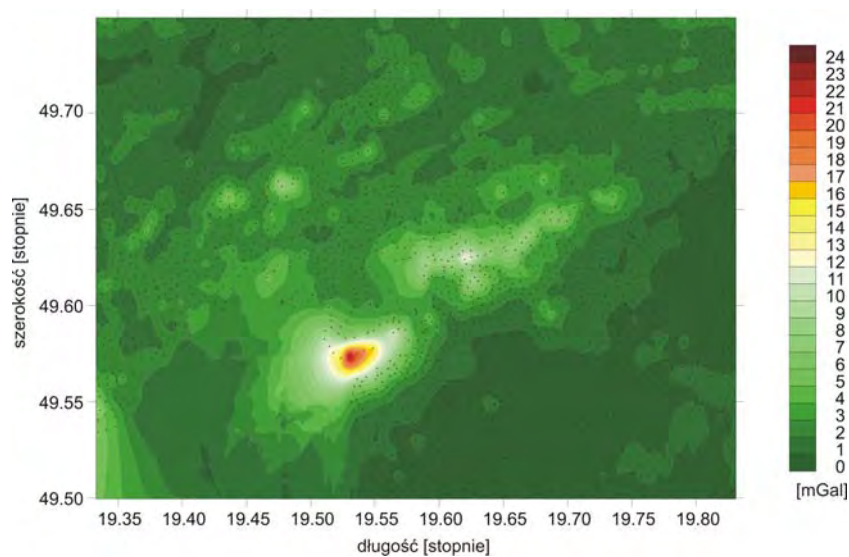
Min	Max	Średnia	Odch. std.
-2.026	2.978	-0.096	0.208

Z analizy różnic między składowymi poprawek terenowych w strefach pośredniej i zewnętrznej, pochodzącymi z materiałów archiwalnych PBG, i odpowiednimi składowymi poprawek terenowych obliczonymi przy użyciu modelu terenu DTED2 o rozdzielczości 1" × 1" oraz wysokości punktu obliczeniowego uzyskanej na podstawie numerycznego modelu terenu dla obiektu Babia Góra wynika, że rozdzielczość użytego do obliczeń modelu terenu ma znaczący wpływ na wartości obliczonych składowych poprawek terenowych w tych strefach. Można oczekiwać, że wykorzystanie numerycznego modelu terenu o rozdzielczości 1" × 1" do obliczenia składowych poprawek terenowych w strefie pośredniej i w strefie zewnętrznej zamiast modeli o rozdzielczości 200 m × 200 m i 1000 m × 1000 m, odpowiednio w strefie pośredniej i zewnętrznej, podniesie jakość wyznaczanych poprawek terenowych, przynajmniej na terenach górzystych.

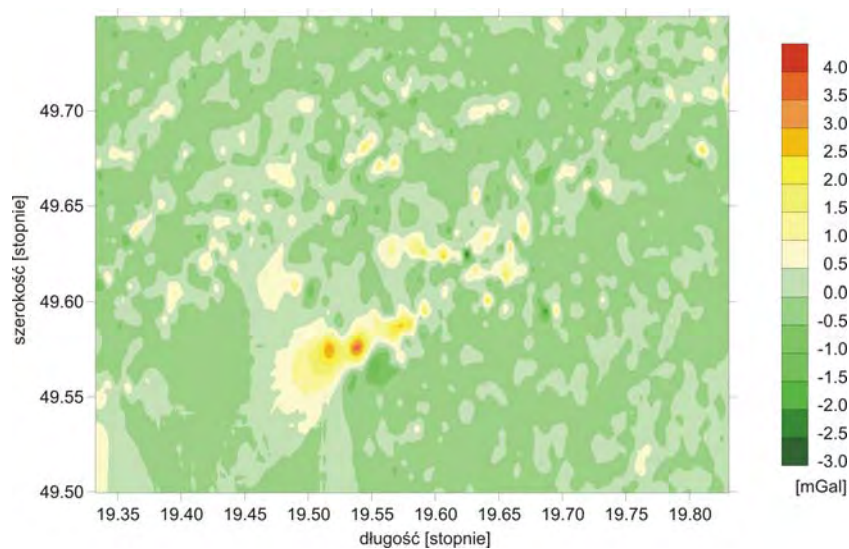
3.5. Ocena wpływu rozdzielczości użytego modelu terenu na wielkość całkowitej poprawki terenowej w promieniu 22.5 km

Korzystanie z danych wysokościowych o niskiej rozdzielczości, tj. 200 m × 200 m w strefie pośredniej i 1000 m × 1000 m w strefie zewnętrznej, przy obliczeniach poprawek terenowych znajdujących się w archiwum PBG podyktowane było w głównej mierze względami praktycznymi, wynikającymi z ówczesnych możliwości obliczeniowych oraz z konieczności generowania wysokości w procesie ręcznego cyfrowania map topograficznych.

W celu dokonania oceny wpływu rozdzielczości użytego modelu terenu na wielkość całkowitej poprawki terenowej w promieniu 22.5 km obliczono dla obiektu Babia Góra poprawki terenowe, korzystając z modelu terenu DTED2 o rozdzielczości 1" × 1" (rys. 10). Poprawki te porównano z odpowiednimi całkowitymi poprawkami terenowymi z danych archiwalnych PBG (rys. 11).



Rys. 10. Mapa poprawek terenowych w okolicy Babia Góra wyznaczonych przy użyciu numerycznego modelu terenu o rozdzielczości 1" × 1"

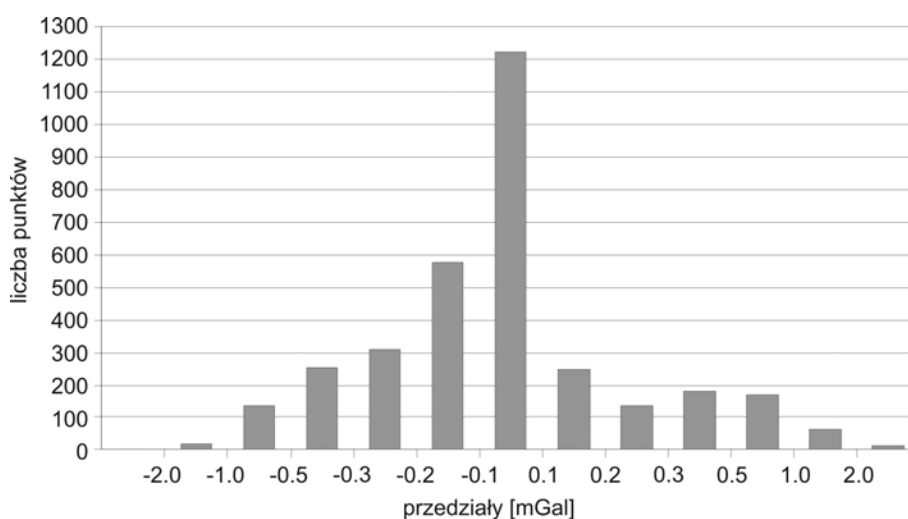


Rys. 11. Mapa różnic archiwalnych poprawek terenowych PBG i obliczonych przy użyciu numerycznego modelu terenu o rozdzielczości 1" × 1" w okolicy Babia Góra

Statystyki poprawek terenowych z danych archiwalnych PBG (zbiór h1), poprawek terenowych obliczonych z modelu terenu DTED2 o rozdzielczości $1'' \times 1''$ do odległości 22.5 km, przy zastosowaniu gęstości 2.55 g/cm^3 i przy użyciu jako wysokości punktu obliczeniowego wysokości uzyskanej na podstawie modelu terenu (zbiór h2) oraz różnic poprawek archiwalnych i obliczonych (zbiór h3), przedstawiono w tabeli 11, zaś histogram różnic (zbiór h3) – na rysunku 12.

Tabela 11. Statystyki poprawek terenowych z danych archiwalnych PBG (zbiór h1), poprawek terenowych obliczonych z modelu terenu o rozdzielczości $1'' \times 1''$ (zbiór h2) i różnic między archiwalnymi PBG i obliczonymi z modelu terenu o rozdzielczości $1'' \times 1''$ poprawkami terenowymi (zbiór h3)

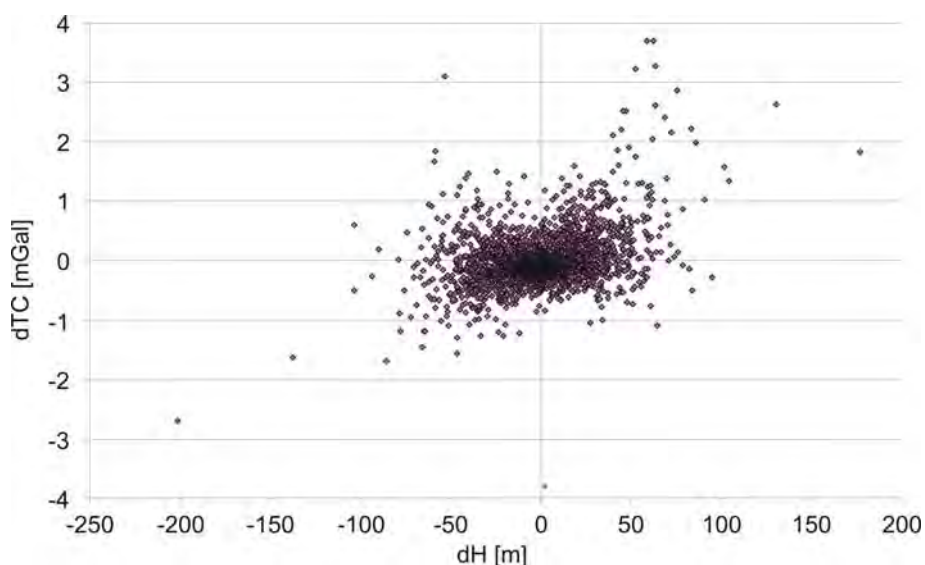
Zbiór	Min [mGal]	Max [mGal]	Średnia [mGal]	Odch. std. [mGal]
h1	0.203	25.746	1.899	1.678
h2	0.266	24.161	1.901	1.522
h3	-3.787	3.698	-0.002	0.403



Rys. 12. Histogram różnic między poprawkami terenowymi z danych archiwalnych PBG i poprawkami terenowymi obliczonymi z modelu terenu o rozdzielczości $1'' \times 1''$ (zbiór h3)

Statystyki różnic między archiwalnymi PBG i obliczonymi z modelu terenu o rozdzielczości $1'' \times 1''$ poprawkami terenowymi (tab. 11) pozostają w zgodności ze statystykami odpowiednich różnic składowych poprawek terenowych przedstawionymi w tabelach 3, 9 i 10.

Zależność różnicy poprawek terenowych z materiałów archiwalnych PBG i obliczonych przy użyciu numerycznego modelu terenu od różnicy między wysokością wyznaczoną z niwelacji i wysokością uzyskaną z modelu terenu przedstawiono na rysunku 13.



Rys. 13. Zależność różnicy poprawek terenowych dTC z materiałów archiwalnych PBG i obliczonych przy użyciu numerycznego modelu terenu od różnicy dH między wysokością wyznaczoną z niwelacji i wysokością uzyskaną z modelu terenu

Dużym różnicom w wartościach poprawek terenowych towarzyszą zazwyczaj duże różnice w wartościach wysokości spowodowane w głównej mierze błędami położenia poziomego punktów pomiarowych. Jednakże różnice sięgające 1 mGal dotyczą również punktów, dla których różnica wysokości jest mniejsza od dokładności modelu terenu i można zakładać, że ich współrzędne poziome są prawie bezbłędne.

4. PODSUMOWANIE

Do oceny jakości poprawek terenowych „1992” znajdujących się w geologicznej bazie danych grawimetrycznych wykorzystano udostępnione przez Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych materiały archiwalne, zawierające składowe poprawki terenowych z poszczególnych stref dla 3327 punktów obiektu Babia Góra z półszczegółowego zdjęcia grawimetrycznego dla tematu Karpaty Zachodnie 1975, numeryczny model terenu DTED2 o rozdzielczości $1'' \times 1''$ oraz dostępne w geologicznej bazie danych grawimetrycznych wyznaczone z niwelacji wysokości punktów grawimetrycznych i ich pozycje.

Z porównania poprawek terenowych „1992” (PIG) z poprawkami terenowymi z materiałów archiwalnych PBG dla punktów grawimetrycznych obiektu Babia Góra wynika, że poprawki terenowe zostały obliczone w PBG z użyciem gęstości 2.55 g/cm^3 , a następnie po przeliczeniu do gęstości 2.60 g/cm^3 jako poprawki terenowe „1992” wprowadzone do geologicznej bazy danych grawimetrycznych. Wniosek ten znajduje potwierdzenie w wynikach porównań obliczonych dla różnych gęstości składowych poprawek terenowych na punktach obiektu Babia Góra z odpowiednimi składowymi poprawkami terenowymi w materiałach archiwalnych PBG.

W odtworzeniu wartości składowych poprawek terenowych w strefie pośredniej najlepsze wyniki uzyskuje się, stosując bezpośrednio model terenu o rozdzielczości $6" \times 10"$ otrzymany metodą rozrzedzania punktowego modelu terenu DTED2 o rozdzielczości $1" \times 1"$, bez dodatkowego zagęszczenia na granicy ze strefą wewnętrzną oraz przy użyciu gęstości 2.55 g/cm^3 .

W odtworzeniu wartości składowych poprawek terenowych w strefie zewnętrznej najlepsze wyniki uzyskuje się, stosując bezpośrednio model terenu o rozdzielczości $30" \times 50"$ uzyskanej metodą rozrzedzania poprzez uśrednianie siatki o rozdzielczości $1" \times 1"$, bez dodatkowego zagęszczenia na granicy ze strefą wewnętrzną oraz przy użyciu gęstości 2.55 g/cm^3 .

Składową poprawkę terenową w strefie wewnętrznej można obliczyć jako różnicę między wartością poprawki terenowej z grawimetrycznej bazy danych i sumą odtworzonych wartości składowych poprawki terenowej w strefach zewnętrznej i pośredniej. Jedynie dla 39% punktów obiektu Babia Góra wartość tej składowej poprawki terenowej daje się odtworzyć z dokładnością 0.1 mGal , zaś dla 75% punktów tego obiektu – z dokładnością 0.3 mGal .

Wartość składowej poprawki w strefie wewnętrznej można odtworzyć z dokładnością 0.1 mGal dla 76% punktów obiektu Babia Góra, stosując model terenu DTED2 o rozdzielczości $1" \times 1"$ i gęstość 2.55 g/cm^3 , natomiast z dokładnością 0.3 mGal – dla 97% punktów.

Wykazano, że efekt zastąpienia wartości wysokości stacji grawimetrycznej odczytanej z mapy topograficznej (lub obliczonej z numerycznego modelu terenu) wartością wysokości wyznaczonej z niwelacji osiąga przy liczeniu składowych poprawek terenowych w strefie pośredniej, jak również zewnętrznej w obiekcie Babia Góra znaczące wartości; efekt ten jest 2÷3-krotnie silniejszy w strefie pośredniej niż w strefie zewnętrznej. Z uwagi na duże błędy w wyznaczeniu pozycji stacji grawimetrycznych w geologicznej bazie danych grawimetrycznych, przy liczeniu składowych poprawek terenowych w strefie pośredniej i zewnętrznej z przeznaczeniem do precyzyjnego modelowania geoidy, jako wysokość stacji grawimetrycznej należy przyjąć wysokość określoną z numerycznego modelu terenu.

Badania numeryczne przeprowadzone dla obiektu Babia Góra wykazały, że rozdzielczość użytego do obliczeń modelu terenu ma znaczący wpływ na wartości obliczonych składowych poprawek terenowych w tych strefach. Można oczekiwać, że wykorzystanie numerycznego modelu terenu o rozdzielczości $1" \times 1"$

do obliczenia składowych poprawek terenowych w strefie pośredniej i w strefie zewnętrznej zamiast modeli terenu o rozdzielczości $200\text{ m} \times 200\text{ m}$ i $1000\text{ m} \times 1000\text{ m}$, odpowiednio w strefie pośredniej i zewnętrznej, podniesie jakość wyznaczanych poprawek terenowych, przynajmniej na terenach górzystych.

PODZIĘKOWANIA

Badania, których wyniki przedstawiono w niniejszej pracy, wykonano w ramach projektu badawczego N526 006 32/1089 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Przeprowadzenie tych badań było możliwe dzięki udostępnieniu wykonawcom projektu przez Dyрекcję Przedsiębiorstwa Badań Geofizycznych materiałów archiwalnych dotyczących poprawek terenowych punktów półszeregółowego zdjęcia grawimetrycznego w obiekcie Babia Góra. Autorzy wyrażają serdeczne podziękowania panu Krzysztofowi Zochniakowi, Kierownikowi Biblioteki Zasobów Geofizycznych PBG za owocne konsultacje oraz cenne informacje dotyczące źródeł i powstawania zasobów zdjęć grawimetrycznych w Polsce.

LITERATURA

- Bott M.H.P., (1959): *The use of electronic digital computers for the evaluation of gravimetric terrain corrections*, Geophysical Prospecting, Vol. 7, pp. 45-54.
- Fajkiewicz Z., (1980): *Mikrogravimetria górnicza*, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice (264 pp).
- Forsberg R., (2005): *Terrain Effects in Geoid Computations*, International School for the Determination and Use of the Geoid, Budapest, pp. V1-V38.
- Grzyb M., Kryński J., Mańk M., (2006): *The effect of topography and quality of a digital terrain model on the accuracy of terrain corrections for centimetre quasigeoid modelling*, Geodezja i Kartografia, Vol. 55, No 1, pp. 23-46.
- Kane M.F., (1962): *A comprehensive system of terrain corrections using a digital computer*, Geophysics, Vol. 27, pp. 455-462.
- Królikowski C., (2006): *Zdjęcie grawimetryczne Polski – jego wartość i znaczenie dla nauk o Ziemi*, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 420, Warszawa (104 s).
- Kryński J., (2007a): *Centymetrowa geoida na obszarze Polski – realia i perspektywy*, Proceedings of the Institute of Geodesy and Cartography, t. LIII, z. 111, Warsaw 2007, pp. 5–46.
- Kryński J., (2007b): *Precyzyjne modelowanie quasigeoidy na obszarze Polski – wyniki i ocena dokładności*, Monographic series of the Institute of Geodesy and Cartography, Nr 13, Warsaw 2007, (230 pp).

Kryński J., Mańk M., Grzyb M., (2005): *Evaluation of digital terrain models in Poland in view of a cm geoid modelling*, Geodezja i Kartografia, Vol. 54, No 4, pp. 155–175.

Lukavtchenko P.I., (1951): *Tablicy i nomogramy dla vytchislenia popravki sily tiashesti za relief mestnosti pri semke z gravimetrami*, Moskva, Gostoptechizdat, 1951.

Recenzował: prof. dr hab. inż. Adam Łyszkowicz

*GRAŻYNA KLOCH
Institute of Geodesy and Cartography*

*JAN KRYŃSKI
Institute of Geodesy and Cartography*

**QUALITY ASSESSMENT OF TERRAIN CORRECTIONS
„1992” AND THE ANALYSIS OF THEIR USEFULNESS
FOR THE DETERMINATION OF TERRAIN CORRECTIONS
WITH AN ACCURACY REQUIRED
FOR PRECISE GEOID MODELLING**

Summary

Terrain corrections „1992” were calculated for 27% of gravity stations in Poland using terrain slopes data surveyed in the vicinity of each gravity point (inner zone) and data from topographic maps (middle and outer zone) within the radius of 22.5 km. Unfortunately very little archive records on the subject survived. With few exceptions only the final values of terrain corrections „1992”, i.e. the total contributions of all three zones are available.

Low resolution of height data used, limitation of the maximum radius of terrain correction computation to 22.5 km around gravity station, the use of different algorithms and probably different standards substantially affect the quality of terrain corrections „1992”. As a result, the accuracy of terrain corrections „1992” is lower than the one required for modelling geoid at centimetre level of accuracy.

The authors of this paper made an attempt at investigating the usefulness of the terrain corrections „1992” (the total contribution of tree zones or the

recovered contribution of the individual zones) for improving the quality of newly calculated terrain corrections, that will be used for modelling geoid with centimetre accuracy. Investigations based on analysis of the results of numerical tests conducted with use of the survived data records from PBG (Geophysical Exploration Company). The records contain the contributions of the inner, middle and outer zone to terrain corrections for 3327 gravity stations in Babia Gora area (gravity survey in Western Carpathians 1975).

First, the relation between terrain corrections „1992” and terrain corrections from PBG records has been determined. Then, the possibility of computing precise terrain correction in the inner zone with the use of DTM of $1" \times 1"$ resolution – called DTED2 was analysed, and the possibility to recover the contribution of the inner zone as a difference between terrain correction from data base „1992” and re covered contributions of middle and outer zones were investigated. The effects of height data type (levelled height or height obtained from the topographic map) as well as resolution of DTM used on terrain correction in the middle and outer zone as well as the effect of resolution of DTM on whole terrain correction within the radius of 22.5 km were investigated.

Keywords: terrain correction, digital terrain model, resolution, geoid modelling