

Sławomir PORZUCEK, Tomasz LIPECKI, Janusz MADEJ,  
Wojciech JAŚKOWSKI, Monika ŁÓJ, Mikołaj SKULICH  
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

## BADANIA GRAWIMETRYCZNE I GEODEZYJNE W GÓRNICTWIE ORAZ W OCHRONIE TERENÓW GÓRNICZYCH

**Streszczenie.** Bezpieczne i płynne prowadzenie prac górniczych wymaga rozwiązania wielu problemów. Cel ten uzyskuje się wykorzystując współczesne osiągnięcia nauki i techniki. Znaczny udział w rozwiązywaniu takich problemów mają dwie metody: grawimetryczna i geodezyjna. Współdziałanie obu tych metod pozwala na pełniejsze rozwiązywanie stawianych przed obiema metodami zadań. Obrazem takiej pełnej współpracy są przedstawione w pracy przykłady ich wykorzystania.

## GRAVIMETRIC AND GEODETIC SURVEY IN THE MINING AND THE PRESERVATION OF MINING AREA

**Summary.** Safe and steady leading mining works requires solving many problems. This target is being gotten using contemporary of the science and technology. Two methods have the considerable participation in solving such problems: gravimetric and geodetic. Cooperating both of these methods lets for fuller solving objectives put before both methods. Examples presented in paper are an image of such a full cooperation of gravimetric and geodetic methods.

### 1. Wprowadzenie

Od wieków wydobywanie minerałów i kopalni piętzy przed górnikami problemy i trudności, które koniecznie należy rozwiązać, by móc bezpiecznie i płynnie, a ostatnio również i ekologicznie, prowadzić eksploatację. Rozwiązywanie tych problemów jest możliwe przez zastosowanie badań z wielu dziedzin nauki i techniki, wśród których znajdują się geofizyka i geodezja. Badania prowadzone w ich ramach od wielu lat bardzo dobrze

wpisują się w potrzeby górnictwa i wykorzystywane są zarówno pod ziemią, jak i na powierzchni.

Kilka przykładów zastosowania w górnictwie jednej z metod geofizycznych – grawimetrii wraz z zawsze towarzyszącymi jej pomiarami geodezyjnymi – zostało przedstawione dla zobrazowania wykorzystania obu tych metod. Oprócz klasycznych pomiarów geodezyjnych coraz częściej wykorzystuje się najnowsze osiągnięcia techniki i metodyki pomiarowej. Informacje uzyskane z obu dziedzin mogą być wykorzystywane oddzielnie, ale często wzajemnie się uzupełniają i potwierdzają trafność interpretacji.

Badania grawimetryczne mogą być stosowane do rozpoznania lub uszczegółowienia budowy geologicznej regionu, w którym prowadzi się eksploatację, a w szczególności do rozpoznania samego złoża. Wraz z pomiarami geodezyjnym stosowane są do ochrony powierzchni terenu przed skutkami byłej i bieżącej eksploatacji górniczej, czyli określenia możliwości wystąpienia deformacji ciągłych i nieciągłych. Możliwy jest również wspólny monitoring powierzchni terenu czy też obiektów na nim posadowionych.

## 2. Metoda grawimetryczna i pomiary geodezyjne

Metoda grawimetryczna jest jedną z podstawowych metod geofizycznych. Istota metody opiera się na pomiarze siły ciężkości, a właściwie jej składowej pionowej, co w praktyce sprowadza się do pomiaru przyspieszenia ziemskiego. Do badań polowych wykorzystuje się przyrząd zwany grawimetrem, którego najnowsze wersje mają dokładność pomiaru wynoszącą około  $10^{-8}$  wartości przyspieszenia ziemskiego, a nawet większą. Grawimetr używany w badaniach poszukiwawczych nie podaje wartości absolutnych siły ciężkości, ale wartości względne.

Niewątpliwą zaletą metody grawimetrycznej jest fakt, iż jest ona bezinwazyjna, czyli w żaden sposób nie ingeruje w ośrodek skalny czy też w środowisko otaczające. Dodatkowo metoda ta jest praktycznie niepodatna na zakłócenia, tzn. żadne pola fizyczne praktycznie nie mają wpływu na pomiar. Jedynie drgania gruntu w zakresie pewnych częstotliwości obniżają dokładność pomiaru.

Wartości pomierzone siły ciężkości zostają następnie poddane przetworzeniu, które wymaga znajomości współrzędnych (X, Y, H) punktu pomiarowego. Pionowa składowa powinna być określona z dokładnością do  $\pm 1$  cm. W zależności od wielkości zdjęcia

grawimetrycznego współrzędne płaskie mogą być przedstawione w dowolnym obowiązującym układzie współrzędnych (również geograficznym) lub układzie lokalnym.

Jeżeli pomiary grawimetryczne odbywają się w terenie charakteryzującym się skomplikowaną rzeźbą terenu, konieczne jest wprowadzenie poprawki topograficznej siły ciężkości. Obliczenia poprawki wymagają stworzenia cyfrowego modelu terenu. Model ten tworzony jest na podstawie punktów pomiarowych oraz dodatkowo pomierzonych geodezyjnie punktów, a często także za pomocą istniejących map wysokościowych danego obszaru (Porzucek, 2006).

W warunkach zabudowy miejskiej zachodzi czasami konieczność uwzględnieniu wpływu grawitacyjnego budynków na wartość pomierzoną siły ciężkości, czyli wprowadzenia poprawki urbanistycznej.

Przetwarzanie danych grawimetrycznych wykonywane jest w celu uzyskania anomalii siły ciężkości w redukcji Bouguera, stanowiących podstawę prowadzenia interpretacji. Można powiedzieć, że rozkład tych anomalii odzwierciedla przestrzenny obraz gęstości objętościowej utworów w ośrodku skalnym. Dalsze przetwarzanie danych i interpretacja pozwalają na wyodrębnienie form geologicznych lub antropogenicznych różniących się gęstością od otaczających je utworów. Mając dodatkowe informacje lub przesłanki o poszukiwanych formach, możliwe jest określenie ich rozmiarów i gęstości objętościowej.

Pomiary grawimetryczne zazwyczaj wykonuje się w węzłach regularnej siatki pomiarowej, a o ile jest to niemożliwe w punktach rozproszonych. Do rozwiązania niektórych zadań możliwe jest wykonanie tylko pomiarów wzdłuż profili. Wobec powyższego ważnym zagadnieniem jest współpraca z zespołem geodezyjnym, zapewniającym wyznaczenie współrzędnych  $X$ ,  $Y$ ,  $H$  w grawimetrycznych punktach pomiarowych.

Zadaniem pomiarów geodezyjnych w badaniach grawimetrycznych jest zapewnienie wyznaczenia współrzędnych przestrzennych punktów pomiarowych. Szczególnie pomiar wysokości cechować się musi wysoką dokładnością. Do niedawna można to było wykonywać na odpowiednim poziomie dokładności w zasadzie tylko dzięki niwelacji geometrycznej. Niestety, dla bardzo dużych obszarów opracowania jest to metoda czasochłonna i nie umożliwia określenia współrzędnych sytuacyjnych punktów. Obecnie alternatywnymi metodami są: tachimetria elektroniczna oraz pomiary GPS RT – czasu rzeczywistego (Lipecki, 1999), umożliwiające wyznaczenie w trakcie jednokrotnego pomiaru przestrzennych współrzędnych punktów z dokładnością około  $\pm 1$  cm (Borowiec i inni, 1999). Oczywiście stosowanie procedur kontrolnych pozwala redukować występowanie błędów grubych.

Tachimetria elektroniczna (często pomiary bezlustrowe) może być wykonywana w sposób samodzielny, ewentualnie we współpracy z pomiarami GPS (statyczną i RTK – tzw. sieci modularne). W uzasadnionych przypadkach nie jest wykluczone wykonanie niwelacji geometrycznej. Jednak jest ona ekonomiczna na małych obszarach (w tzw. niwelacji siatkowej), gdy nie istnieje już potrzeba wyznaczenia współrzędnych płaskich – np. w kolejnych seriach pomiarowych na zastabilizowanych punktach obserwacyjnych.

Niezależnie od wykorzystywanej metody wyznaczenia położenia punktów grawimetrycznych można wydzielić następujące etapy działań geodezyjnych:

1) Założenie osnowy pomiarowej:

- a. w pomiarach tachimetrycznych – najczęściej są to również stanowiska tachimetryczne do pomiarów biegunowych. Osnowa ta może być na dużych obszarach wyznaczana przez pomiary statyczne GPS;
- b. w pomiarach GPS – osnowa (wyznaczana metodą statyczną) stanowi zbiór stanowisk stacji referencyjnych w pomiarach RT (czasu rzeczywistego).

2) Wykonanie pomiarów – najczęściej polegające na wyniesieniu projektu lokalizacji punktów w teren i wyznaczeniu ostatecznego ich położenia w przestrzeni z wymaganą dokładnością. Obecnie stosuje się metody pozwalające realizować to w jednym procesie pomiarowym.

3) Procedury kontrolne – niezależne wyznaczenie położenia tych samych punktów z różnych stanowisk pozwala monitorować prawidłowość wykonywanych pomiarów geodezyjnych. Bezwzględnie należy kontrolować zgodność prowadzonego szkicu z numeracją punktów pomiarowych, zapisanych w rekordach pamięci instrumentu.

4) Opracowanie kameralne – polegające najczęściej na transmisji obserwacji (współrzędnych) z przyrządów pomiarowych do komputera, a następnie stworzeniu mapy rozmieszczenia punktów i jej weryfikacji z projektem wynoszonym w teren. Wyznaczone wysokości mogą być dodatkowo kontrolowane przez obliczenia grawimetryczne. Jeżeli jakieś punkty wykazują niewytłumaczalne anomalie siły ciężkości – oznacza to, że prawdopodobnie może (ale nie musi) występować błąd w pomiarach geodezyjnych. To sprzężenie zwrotne w interpretacji wyników wymaga, aby wstępne opracowanie kameralne było wykonywane w tym samym czasie przez obydwa zespoły, po każdym dniu realizowanych badań.

5) Ostateczne zestawienia wyników – w postaci współrzędnych wymaganego układu (np. 1965, 1942, Pieszkowice, Sucha Góra itp.). Wartości wysokości mogą zostać przedstawione w lokalnym układzie odniesienia ze względu na fakt, iż obliczenia

redukcji grawimetrycznych opierają się na wartościach różnic wysokości, a nie na wartościach bezwzględnych. Istotne jest, aby całość opracowania odnosiła się do jednolitego układu wysokości. Taki sposób eliminuje konieczność wykonywania dowiązania wysokościowego do punktów odległych od badanego obiektu. Często pomiary GPS realizują współrzędne  $X$ ,  $Y$ ,  $H_{\text{elips}}$  w lokalnych układach na elipsoidzie WGS-84 – w tym wypadku nie ma potrzeby wyznaczania prawdziwych współrzędnych tych punktów. Ważne jest, by wewnętrzna dokładność określenia położenia punktów pomiarowych była na poziomie wymaganym przez badania grawimetryczne.

### **3. Przykłady zastosowania metody grawimetrycznej i współdziałających z nią pomiarów geodezyjnych**

Metoda grawimetryczna i geodezja od dawna wykorzystywane są w górnictwie i ochronie terenów górniczych.

Zastosowanie pomiarów geodezyjnych w standardowym, technicznym rozumieniu jest ogólnie znane. Ale oprócz tego jest wiele specjalistycznych, górniczych zastosowań tych pomiarów, takich jak: monitoring osiadania powierzchni terenu, badanie wychyleń wież szybowych itd.

Metoda grawimetryczna w ogólnie pojętym górnictwie ma zastosowanie w wielu aspektach, m.in. rozpoznanie złoża, monitoring i ochrona powierzchni terenu, z tym że do przetwarzania pomiarów siły ciężkości zawsze konieczne jest wykonanie pomiarów geodezyjnych. Każdy punkt grawimetryczny musi mieć określone współrzędne  $X$ ,  $Y$ ,  $H$ . W niektórych przypadkach niezbędne jest wykonanie dodatkowych pomiarów geodezyjnych, mających na celu odzwierciedlenie rzeźby terenu badanego rejonu, a także jego otoczenia. Dane te potrzebne są do wprowadzenia poprawki topograficznej siły ciężkości. Niekiedy, w warunkach ścisłej zabudowy miejskiej, należy dokonać pomiarów istniejących budowli, by była możliwość wprowadzenia poprawki urbanistycznej. Z powyższego wynika, że pomiary geodezyjne są nieodłącznie związane z badaniami grawimetrycznymi.

Oprócz „służebnej” roli geodezji w badaniach grawimetrycznych istnieje również współpraca obu dziedzin w sferze interpretacji pomiarów. Szczególnie jest to widoczne w ochronie powierzchni terenu. Metoda grawimetryczna pozwala na określenie bieżącego stanu górotworu (np. istnienie w nim pustki lub rozluźnienia) oraz, poprzez monitoring, na śledzenie procesów zachodzących w górotworze (migracje tychże pustek i rozluźnień ku

powierzchni terenu) i to w czasie, kiedy na powierzchni terenu nie ma jeszcze prawie żadnych objawów. Cykliczne obserwacje geodezyjne wysokości na danym obszarze pozwalają na uszczegółowienie i weryfikację badań grawimetrycznych. I odwrotnie, gdy geodezyjnie zostaną zauważone zmiany wysokościowe na powierzchni terenu, metoda grawimetryczna pozwala na określenie przyczyn i rozmiarów tego zjawiska.

### 3.1. Centralna część Wieliczka

Wieliczka to miasto „położone”, w swej centralnej części, na soli. Eksploatacja wielickiego złoża trwała przez wiele wieków, bo prawie aż do końca XX wieku. Przebiegała ona na różnych głębokościach – poczynając od kilkunastu do kilkuset metrów. Wydobywanie soli do początków XX wieku często nie było prowadzone zgodnie z dzisiaj obowiązującą sztuką górniczą. Efektem tej działalności były liczne, udokumentowane, zapadliska powierzchni terenu, a także niebezpieczne dla istnienia kopalni gwałtowne dopływy słodkiej wody do wyrobisk. Ostatnio przykładem takiej katastrofy był niekontrolowany dopływ słodkiej wody do poprzeczni „Mina” w roku 1992. Zagroził on istnieniu kopalni, a także spowodował powstanie deformacji ciągłych na powierzchni terenu, co poskutkowało przerwaniem połączenia kolejowego do centrum Wieliczki.

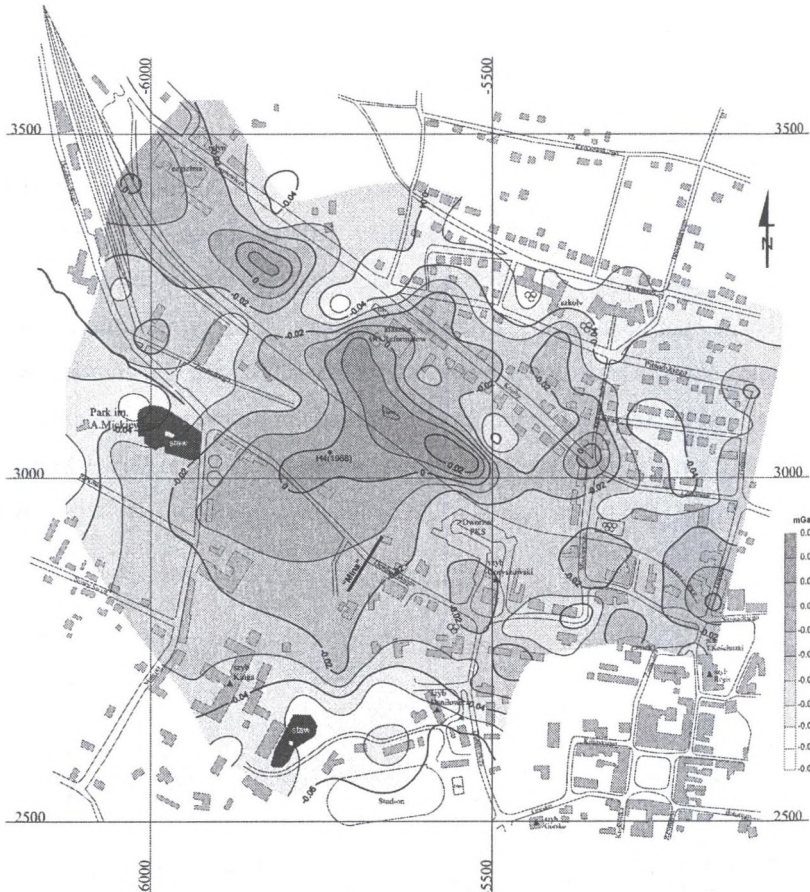
Bezpośrednio po katastrofalnym wypływie wody w kopalni przeprowadzono badania grawimetryczne w centralnej części miasta, w punktach stworzonych na bazie reperów Kopalni Soli „Wieliczka”. Uzyskany obraz rozkładu siły ciężkości pozwolił na uszczegółowienie płytkiej budowy geologicznej, a także uwidocznili rejonu płytkiej eksploatacji, mogące stanowić zagrożenie dla powierzchni terenu.

Na podstawie założonej, nieregularnej siatki pomiarowej prowadzono badania grawimetryczne również w następnych latach. Monitoring grawimetryczny wraz z analizą rozkładu anomalii siły ciężkości oraz budowy geologicznej rejonu kopalni jednoznacznie wykazał istnienie zjawiska sufozji wgłębnej oraz kierunków tej sufozji (Fajklewicz i. in, 1994, 1995).

W 2006 roku, w ramach działalności statutowej nr 11.11.140.455 w Zakładzie Geofizyki WGGiOŚ AGH finansowanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, wykonano odtworzenie, w znacznej części zniszczonej, siatki punktów grawimetrycznych. Odtwarzanie przeprowadzono w trudnych warunkach miejskiej zabudowy, przy wykorzystaniu niezniszczonych reperów kopalni. Z tego też względu pomiary geodezyjne wykonywane były za pomocą tachimetrii elektronicznej, ale i GPS RT. Jednak technologia RT mogła być

wykorzystana w terenie odkrytym – w pobliżu miejsca katastrofy. Z uwagi na zurbanizowany teren, pozostałe punkty były wyznaczane za pomocą niwelacji trygonometrycznej dzięki tachimetrii elektronicznej. Dokładność wyznaczonych punktów dla obydwu metod nie była gorsza od  $\pm 10$  mm ( $\pm 20$  mm w wyjątkowych przypadkach).

Korzystając z niezniszczonych lub dokładnie odtworzonych punktów, porównano wyniki uzyskane w 2006 roku z wynikami z roku 1999.



Rys. 3.1. Rozkład anomalii różnicowych siły ciężkości, lata 1999 – 2006

Fig. 3.1. Temporal gravity changes, 2006 - 1999 years

Rysunek 3.1 przedstawia rozkład anomalii różnicowych siły ciężkości, będący obrazem zmian pola siły ciężkości w okresie 1999 - 2006. Najważniejszym elementem obserwowanym na tym rozkładzie jest fakt, że centralna część zdjęcia, w rejonie poprzeczni „Mina” ma wartości względnie dodatnie. Świadczy to jednoznacznie o przyroście masy w górotworze, związanym ze wspomnianym wcześniej zjawiskiem sufozji wgłębnej. Zastanawiające jest, że w latach 1992-1999 obserwowano systematycznie powiększający się niedobór masy. Wydaje

się, iż w chwili obecnej górotwór powraca do stanu przed katastrofą. W roku 2007 przewidziana jest następna seria badań, która powinna potwierdzić powyższe przypuszczenia.

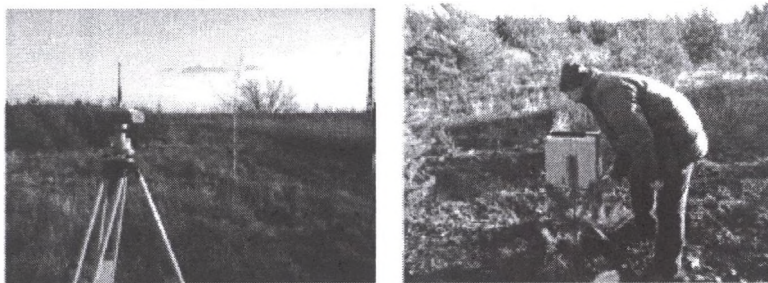
Jednocześnie prowadzony jest coroczny monitoring geodezyjny obszaru w rejonie poprzeczni „Mina”. Wieloletnie pomiary geodezyjne wskazują na wytwarzanie się niecki obniżenia powierzchni terenu w miejscu dopływu wód do poprzeczni „Mina”(Góral, Szewczyk, 2004).

W chwili obecnej analizowane są wyniki uzyskane metodą grawimetryczną oraz najnowsze dane geodezyjne.

### 3.2. Rejon zbiornika odpadów poflotacyjnych

W 2007 roku przystąpiono do prac mających na celu monitoring grawimetryczny fragmentu przedpola dużego zbiornika odpadów poflotacyjnych. W pierwszym etapie przeprowadzono badania grawimetryczne, obejmujące koronę zbiornika, jego zbocze i przedpole. Przed tymi badaniami wykonano pomiary geodezyjne, których celem było zastabilizowanie i określenie wszystkich trzech współrzędnych punktów grawimetrycznych.

Zagadnienie od strony geodezyjnej było o tyle skomplikowane, że należało na bardzo dużym obszarze (2 km x 1 km) wytyczyć regularną siatkę punktów co 50 m, w terenie jedynie częściowo odkrytym, pokrytym również młodnikami sosnowymi i częściowo lasami (rys. 3.2).

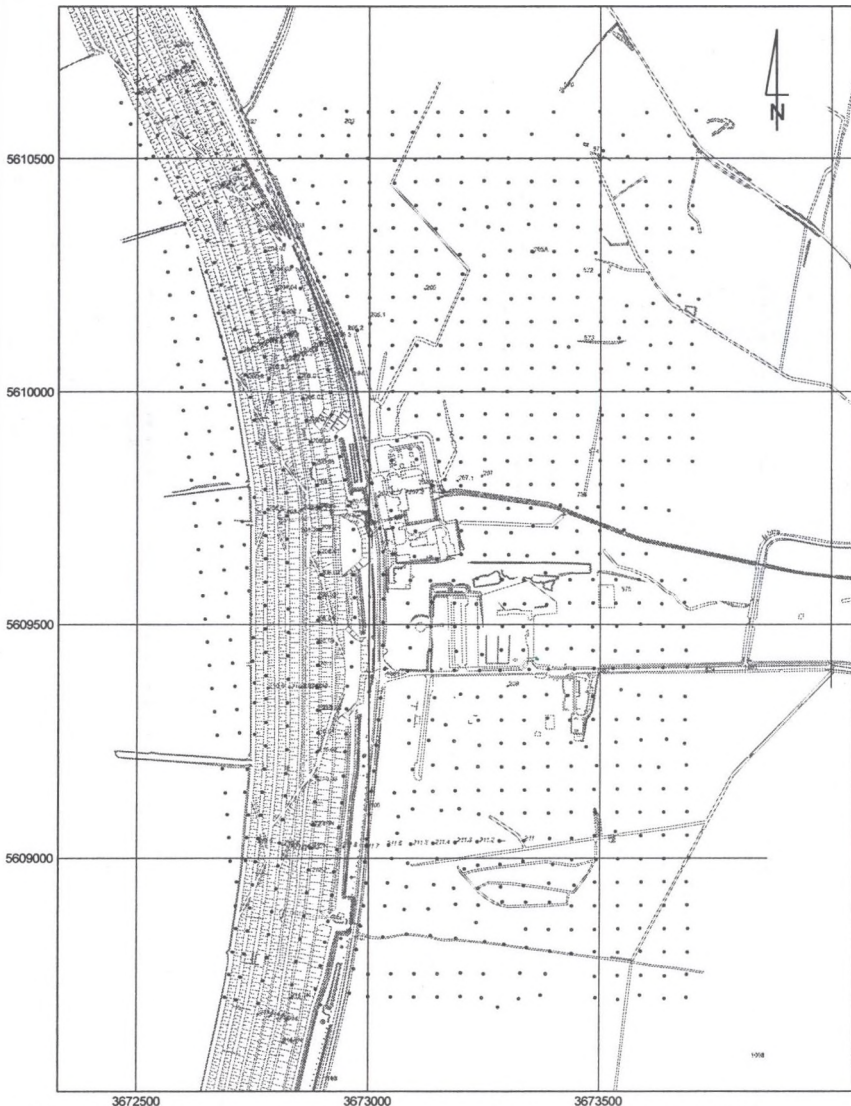


Rys. 3.2. Wykonywanie pomiarów GPS RTK w terenie zakrzewionym  
Fig. 3.2. Using GPS RTK measurements in the brush-covered ground

Dodatkowo, z uwagi na krótki dzień (zima) niemożliwe było zastosowanie metod czasochłonnych. Z tego względu zdecydowano się na połączenie pomiarów tachymetrycznych z pomiarami GPS RT. Projekt siatki zamieniono na dane do tyczenia, w postaci kątów i odległości - dla tachimetru oraz współrzędnych - dla GPS. W tym samym czasie prowadzono pomiary obydwiema metodami, wzajemnie kontrolując wyznaczenie punktów

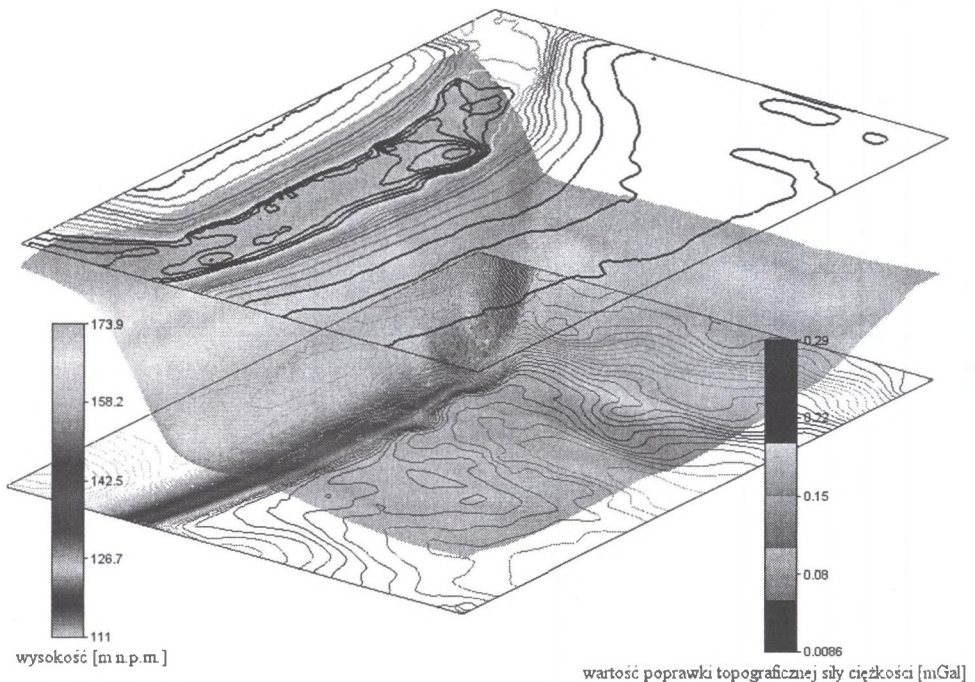


osnowy i niektórych wytyczanych. Pomiaru GPS w czasie rzeczywistym (RT) wykorzystywano przede wszystkim w terenach zakrytych. Dzięki uprzejmości firmy TPI, wykorzystano do prowadzonych badań zestaw GPS RTK HiPer Pro firmy Topcon, odbierający sygnały z satelitów GPS i GLONASS. Umożliwiało to śledzenie sygnału bez utraty rozwiązania i wyznaczanie współrzędnych, nawet na terenach pokrytych młodziem i rzadkim lasem bez liści. W sumie wytyczono ponad 850 punktów w około 6 dni pomiarowych, co nie byłoby możliwe przy zastosowaniu innych metod pomiarowych (rys. 3.3).



Rys. 3.3. Lokalizacja punktów grawimetrycznych w układzie współrzędnych 1965/IV  
Fig. 3.3. Location of gravimetric points in the 1965/IV system of coordinates

Ukształtowanie powierzchni terenu w badanym rejonie i w jego pobliżu (w szczególności istnienie ogromnego zbiornika o znacznej wysokości) spowodowało konieczność wyliczenia poprawki topograficznej siły ciężkości. Poprawka ta ma na celu eliminację, z wartości pomierzonej siły ciężkości, efektu grawitacyjnego, pochodzącego od silnie zmiennej rzeźby terenu. W tym celu stworzono numeryczny model terenu, którego wizualizację przedstawiono na rys. 3.4. Przy tworzeniu modelu wykorzystano współrzędne grawimetrycznych punktów pomiarowych, pomiary geodezyjne wykonane dodatkowo na potrzeby poprawki oraz punkty wysokościowe odczytane z mapy.



Rys. 3.4. Cyfrowy model terenu rejonu zbiornika odpadów poflotacyjnych wraz z rozkładem poprawki topograficznej siły ciężkości

Fig. 3.4. Digital terrain model of the post-flotation dam area, with map of terrain correction

Korzystając z numerycznego modelu terenu, wykonano triangulację (Porzućek 2006), a korzystając z algorytmu Wójcickiego (1993) wyliczono poprawkę topograficzną siły ciężkości, której rozkład przedstawiono na rys. 3.4. Zgodnie z przewidywaniami maksymalna wartość poprawki topograficznej siły ciężkości jest największa u podnóża zbiornika i na jego koronie, a na jej rozkładzie doskonale widoczne jest położenie zbocza zbiornika. Poprawka osiąga maksymalne wartości około 0,25 mGal, czyli jest 25-krotnie większa niż nominalny błąd pomiarowy grawimetru. Wartość ta jest porównywalna lub nawet większa niż

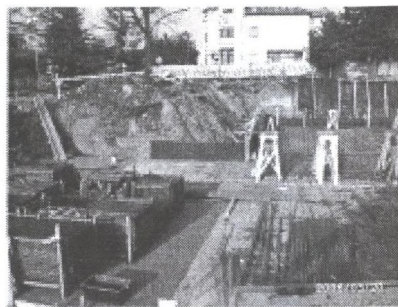
spodziewane wartości efektów grawitacyjnych, pochodzących od badanych form geologicznych. Jej nieuwzględnienie w przetwarzaniu danych pomiarowych uniemożliwiłoby otrzymanie rzeczywistego rozkładu anomalii siły ciężkości w redukcji Bouguera.

Rozkład anomalii siły ciężkości w redukcji Bouguera nie został zamieszczony, gdyż celem autorów było pokazanie współdziałania metody grawimetrycznej i pomiarów geodezyjnych, a także konieczności (w pewnych sytuacjach) uwzględniania poprawki topograficznej. W interpretacji badań grawimetrycznych dodatkowo zostaną wykorzystane wyniki precyzyjnych pomiarów geodezyjnych, monitorujących skarpę zbiornika i bezpośrednie jego przedpole.

### 3.3. Budowa budynku użyteczności publicznej w Jaworznie

W trakcie realizacji budowy obiektu o znacznych rozmiarach w Jaworznie, w jego niedalekim sąsiedztwie nastąpiło zapadnięcie się powierzchni terenu. Powstanie tego zapadliska wiązać należało z płytką, byłą eksploatacją węgla kamiennego w tym rejonie. Podjęto więc decyzję o konieczności wykonania badań, mających na celu ocenę, czy na działce budowlanej nie ma miejsc potencjalnie zagrożonych wystąpieniem deformacji nieciągłych powierzchni terenu. Zagrożeniem tym mogły być przede wszystkim nieznanne, niepodsadzone lub źle podsadzone pustki poeksploatacyjne, które migrują ku powierzchni terenu.

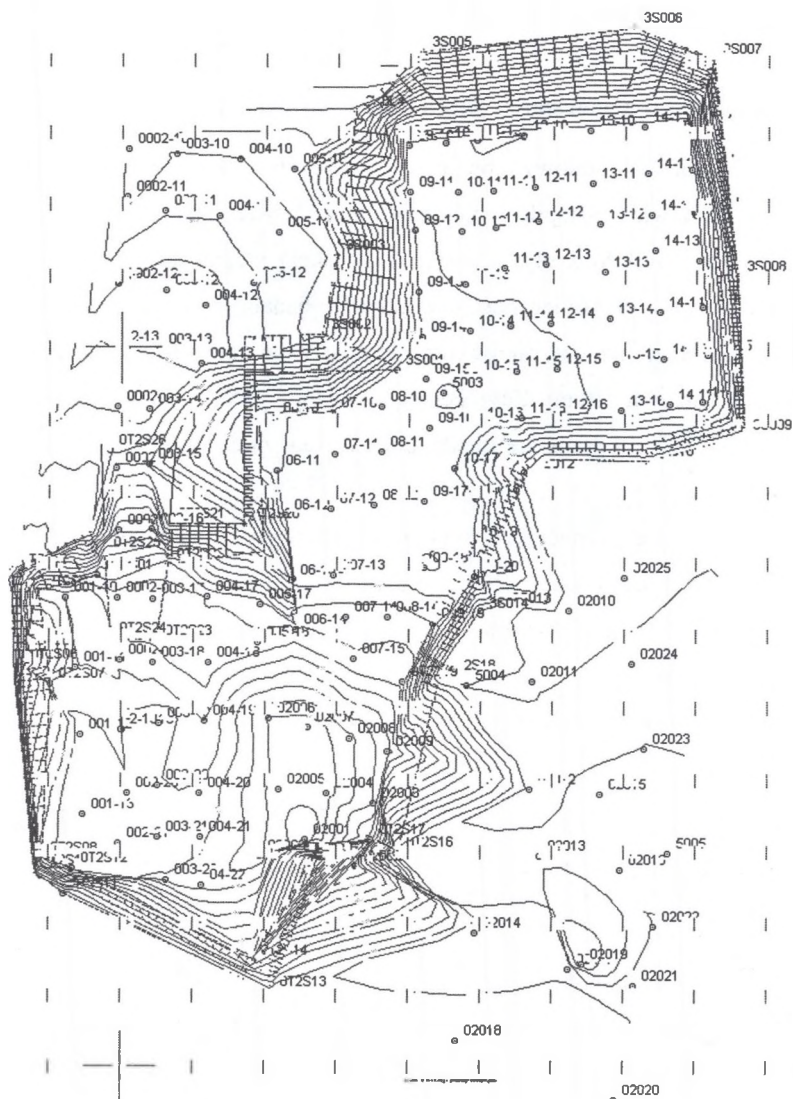
Inwestycja była już rozpoczęta – wykonano wkop pod fundamenty o głębokości około 4 m (rys. 3.5). W takich warunkach większość metod geofizycznych była niemożliwa do zastosowania. Metodą, która mogła rozwiązać problem, była metoda grawimetryczna, a właściwie jej odmiana – metoda mikrogravimetryczna, która jest przeznaczona do rozpoznawania niewielkich form geologicznych i antropogenicznych.



Rys. 3.5. Wkop pod budowlę z częściowo wylanym fundamentem

Fig. 3.5. The pit with partly covered foundation

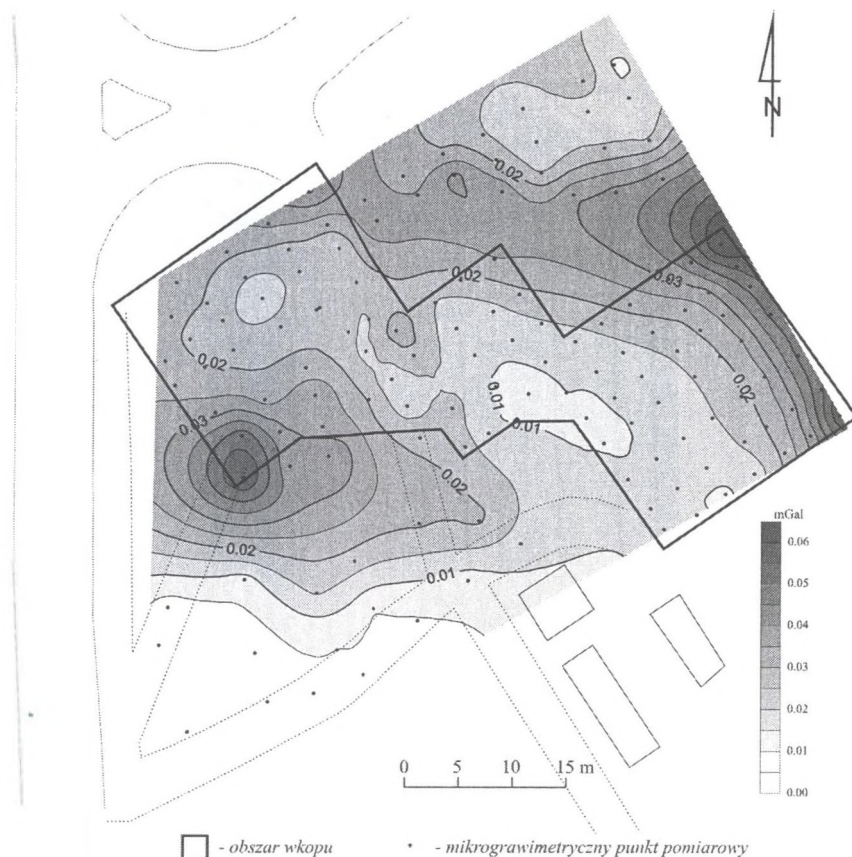
Na obszarze działki zaplanowano punkty położone, miarę możliwości na regularnej siatce pomiarowej. Z uwagi na niewielki obszar prowadzonych badań, do wykonania pomiarów geodezyjnych optymalnie było zastosowanie pomiarów tachymetrycznych. Ograniczenia pomiarowe wymogły wykorzystanie tachimetru bezlustrowego Leica TCR 303, pozwalającego na jednoosobowe wykonanie pomiarów całego obiektu. Wykonanie obserwacji z kilku stanowisk pozwoliło na stworzenie mapy wkopu oraz lokalizacji punktów badawczych (rys. 3.6).



Rys. 3.6. Mapa wkopu wraz z lokalizacją punktów

Fig. 3.6. Map of pit with location of gravimetric points

Podobnie jak w przypadku badań w rejonie dużego zbiornika osadów, również w tym przypadku konieczne było obliczenie poprawki topograficznej siły ciężkości. Pomimo niewielkich rozmiarów wkopu punkty pomiarowe położone były nie tylko w jego bezpośrednim otoczeniu, ale również wewnątrz niego. Spodziewane wartości poprawki były niewielkie, jednakże przewidywane efekty grawitacyjne od postępujących pustek również małe.



Rys. 3.7. Rozkład poprawki topograficznej siły ciężkości

Fig. 3.7. Map of gravity terrain correction

Na rys. 3.7 przedstawiono rozkład poprawki topograficznej siły ciężkości, której maksymalna wartość osiąga 0,06 mGal. Natomiast rys. 3.8 zawiera rozkład anomalii siły ciężkości w redukcji Bouguera, uwzględniający poprawkę topograficzną. Widoczny wzrost wartości pola siły ciężkości w kierunku z południowego wschodu ku północnemu zachodowi można wiązać z wynurzaniem się wysokogęstościowego podłoża skalnego. Nie daje się zauważyć, żadnego istotnego zaburzenia rozkładu, mogącego świadczyć o występowaniu w górotworze pustek i rozluźnień, szczególnie w południowo-wschodniej części obszaru

badania, która leży w pobliżu granicy zrobów pokładu 207. Zastosowanie badań mikrogravimetrycznych pozwoliło na wyeliminowanie podejrzenia co do możliwości zagrożeń prowadzonej inwestycji, z powodu prowadzonej wcześniej w tym rejonie działalności górniczej.



Rys. 3.8. Rozkład anomalii siły ciężkości w redukcji Bouguera

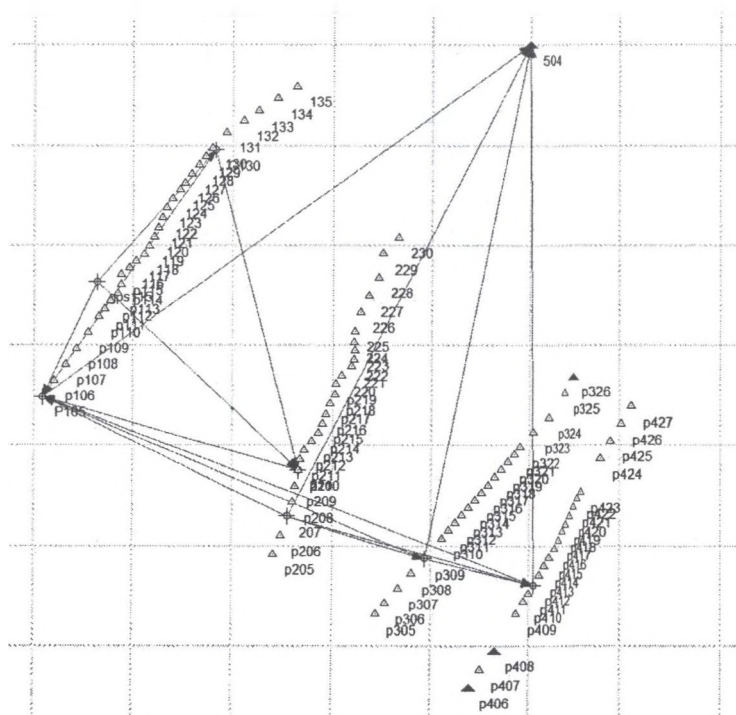
Fig. 3.8. Map of Bouguer anomaly

### 3.4. Obszar górniczy kopalni rudy metali

Celem badań geofizycznych prowadzonych na obszarze jednej z kopalń było rozpoznanie budowy geologicznej utworów cechsztyńskich. W badaniach zastosowano metodę sejsmiczną i jako wspomagającą metodę grawimetryczną. Pomiary wykonano w czterech profilach, przy czym profile grawimetryczne były dłuższe niż sejsmiczne i każdy miał około 3,5 km długości (rys. 3.9).

Punkty na profilu grawimetrycznym zlokalizowano co 100 m. Prace były wykonywane na bardzo dużym obszarze niezabudowanym, ale częściowo zalesionym. Największym

problemem było zrealizowanie wg projektu linii profilowych o długościach kilku kilometrów każdy. Z uwagi na niemożność realizowania jedynie pomiarów GPS RT z jednej stacji referencyjnej, zdecydowano o wyznaczeniu metodą statyczną początków i końców linii (rys. 3.9). Stanowiły one osnowę pomiarową i również stanowiska stacji bazowych w pomiarach RT. Największym problemem była realizacja profilu w wysokim lesie sosnowym, z uwagi na utrzymywanie reżimu ustalonego w projekcie. Zastosowano tu pomiar ciągiem poligonowym. Jego właściwy kierunek i orientacyjne lokalizacje punktów profilu były wyznaczane na podstawie wskazań odbiornika nawigacyjnego GPS, natomiast dokładne współrzędne ustalano opierając się na prowadzonych ciągach poligonowych. Metoda ta była w zasadzie nie tylko optymalna, ale jedyna możliwa do zastosowania w tych warunkach pomiarowych. Pozwoliła w bardzo ekonomiczny sposób połączyć zalety autonomicznego pomiaru GPS z klasycznymi pomiarami geodezyjnymi.

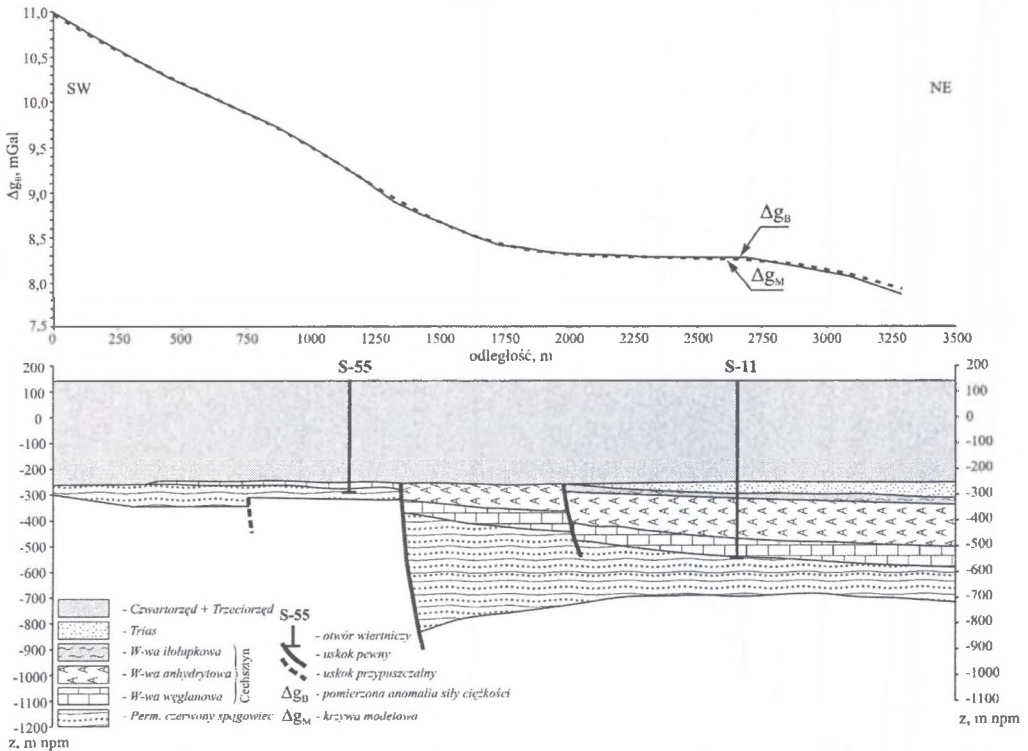


Rys. 3.9. Szkic lokalizacji profili grawimetrycznych  
Fig. 3.9. Skech of gravity profiles localization

W ramach interpretacji uzyskanych danych grawimetrycznych przeprowadzono modelowanie grawimetryczne w profilach. Do budowania modelu wykorzystano dane geologiczne z dostępnych otworów wiertniczych, a także wyniki interpretacji badań

sejsmicznych, przy czym te ostatnie stanowiły podstawę do konstrukcji modelu budowy geologicznej. Na rys. 3.10 przedstawiono wynik modelowania w jednym z profili.

W wyniku modelowania określono położenie podłoża krystalicznego, a także potwierdzono istnienie uskoku zarejestrowanych badaniami sejsmicznymi.



Rys. 3.10. Wynik modelowania grawimetrycznego na wybranym profilu pomiarowych  
Fig. 3.10. Result of gravity modelling on the selected profile

## 4. Wnioski

Od wielu lat grawimetria prowadzi badania na terenach górniczych. Wiele pojawiających się tam problemów można z powodzeniem rozwiązać tą metodą. Integralną częścią badań grawimetrycznych są pomiary geodezyjne. Coraz to nowsze zadania stawiane przed badaniami geofizycznymi wymagają zastosowania nowych technologii i geodezyjnych metod pomiarowych. Przedstawione przykłady ukazują współdziałanie grawimetrii i geodezji, a także schemat prac geodezyjnych opracowanych i zaadoptowanych na potrzeby badań grawimetrycznych. Użycie najnowszych technologii pozwala na przyspieszenie prac geodezyjnych, a co za tym idzie również badań geofizycznych.



Podane przykłady ukazują jedynie niewielki fragment możliwości metody grawimetrycznej, szczególnie w ochronie powierzchni terenów górniczych.

Interpretacja pomiarów geodezyjnych i grawimetrycznych może być prowadzona osobno, ale najlepsze rezultaty można otrzymać przy współpracy obu dziedzin w rozwiązywaniu konkretnie postawionego zadania. Należy zwrócić uwagę na wzajemne uzupełnianie się informacji geodezyjnych i grawimetrycznych, weryfikujących postawione hipotezy badawcze.

## LITERATURA

1. Borowiec W., Cisko B., Jaśkowski W., Lipecki T.: Praktyczna weryfikacja dokładności pomiarów GPS w czasie rzeczywistym (real time) na przykładzie zbiorników "Trzebieńka" i "Dzieńkowice". Sesja Naukowa z Okazji Jubileuszu 80-lecia AGH - Nauka i technika w rozwoju oraz inżynierii środowiska, Kraków 1999.
2. Fajkiewicz Z., Jakiel K., Madej J., Porzucek S.: Wyniki grawimetrycznej prognozy zagrożenia powierzchni terenu w centrum Wieliczki po wypływie w poprzeczni Mina w 1992 r. Konferencja: "Ekologia w górnictwie, a geofizyka", Ustroń-Zawodzie 19-21 października 1994, 133 – 142 1994.
3. Fajkiewicz Z., Madej J., Jakiel K., Porzucek S.: Dotychczasowe wyniki badań grawimetrycznych w OG KS Wieliczka po wypływach w poprzeczni Mina od 1992 r. Konferencja: "Likwidacja zagrożenia wodnego dla zabezpieczenia Kopalni Soli Wieliczka", Polskie Stowarzyszenie Górnictwa Solnego, Wieliczka, 18-19.09.1995 111-113 1995.
4. Góral J., Szewczyk J.: Zastosowanie technologii GPS w precyzyjnych pomiarach deformacji. Application of GPS technology in the precise measurements of deformation], Kraków : Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH 2004.
5. Lipecki T.: Zastosowanie technologii GPS - RTK w monitorowaniu deformacji powierzchni terenu i obiektów specjalnych, znajdujących się pod wpływem eksploatacji górniczej. Przegląd Górniczy 11/1999.
6. Lipecki T.: Nowoczesne technologie transmisji korekt DGPS i RTK. „State-of-the art technologies of DGPS and RTK corrections transfer”– półrocznik Geodezja I/2007 (w druku).
7. Porzucek S., Łój M.: Wykorzystanie triangulacji w grawimetrii. Mat. Konf. Komputerowe wspomaganie badań naukowych XIII KOWBAN'2006, Wyd. Wrocławskie Towarzystwo Naukowe, Wrocław 2006. s. 139-144.
8. Wójcicki A.: Approximation of the gravity attraction caused by the terrain relief forms using a polyhedron method. Acta Geophysica Polonica 41, 3, 1-24 1993.

*Referat został sfinansowany w ramach badań statutowych nr 11.11.140.455 oraz 11.11.150.652.*