

**ZAGROŻENIA WODNE
PÓŁNOCNEJ GRANICY OG KS WIELICZKA
W OBRAZIE CZASOWYCH ZMIAN ANOMALII
SIŁY CIĘŻKOŚCI**

**Water hazard of the northern border of the Wieliczka Salt Mine area
in the light of temporal gravity changes**

Janusz MADEJ, Sławomir PORZUCEK & Krzysztof JAKIEL

*Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,
Katedra Geofizyki; al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
e-mail: madej@geol.agh.edu.pl; porzucek@agh.edu.pl*

Treść: Szczegółowe badania grawimetryczne prowadzono od roku 1992 na powierzchni terenu w otoczeniu poprzeczni Mina. Rejon badań obejmuje północną granicę złoża. Interpretacja rozkładu anomalii siły ciężkości w redukcji Bouguera pozwoliła na uszczegółowienie budowy struktur geologicznych w rejonie północnej granicy złoża wokół poprzeczni Mina. Analiza rozkładów czasowych zmian anomalii siły ciężkości w obrębie północnego przedpola OG KS Wieliczka dostarczyła informacji o dynamice zjawisk zachodzących w latach 1992–2007 w górotworze wielickim w tym rejonie. Te zjawiska są związane z migracją wód podziemnych w kierunku złoża soli, która jest źródłem procesu sufozji i erozji podziemnej w znacznych partiach ośrodka skalnego. W sytuacji wielowiekowej eksploatacji centralnej partii złoża, zniszczenia północnej granicy złoża – czapy ilowo-gipsowej, przepływy wód powiększają degradację tego rejonu. W interpretowanych rozkładach różnicowych anomalii siły ciężkości zaznaczyły się strefy związane z procesami odwadniania i zagęszczania obszaru północnego przedpola złoża soli.

Słowa kluczowe: grawimetria, czasowe zmiany anomalii siły ciężkości, sufozja, erozja podziemna, migracja wód podziemnych, górotwór górniczy

Abstract: Detailed gravity survey have been led on the land near Mina crosscut since 1992. Interpretation of Bouguer anomalies allowed to expand geological construction in this area. Analysis of temporary gravity changes within north outskirts OG KS Wieliczka provided the information about dynamic effects occurrences in Wieliczka's rockmass in 1992–2007. The migration of subsurface waters toward the salt deposits is a source of suffosion and underground erosion process in considerable parts of the rockmass. The centuries-old mining in the central part of the deposit, destroying its north border (gypsum-clay cap rock) and the flow of subsurface waters expand degradation in this area. In the area of the north border of the salt deposit there are noticeable zones connected with dehydration and condensation processes which can be seen in distribution of anomalies temporal gravity changes. It is often possible to observe zones of anomalies in the temporal gravity changes before decreases of the surface could be measurable.

Key words: gravity method, temporal gravity changes, suffosion, underground erosion, subsurface water migration, mining rockmass

WSTĘP

Katastrofalny wypływ solanki nienasyconej w przebudowywanej poprzeczni Mina w kwietniu 1992 r. naruszył równowagę północnego przedpola KS Wieliczka. Przepływy wód w kierunku do złoża uruchomił proces sufozji i erozji podziemnej na znacznym obszarze ośrodka skalnego. W następstwie ubytku masy wykształciła się rozległa, nieregularna niecka osiadań. Ponieważ dopływy wód do północnej granicy złoża w centralnej partii Obszaru Górniczego KS Wieliczka są zasilane z północnego skrzydła Kotliny Wielickiej, z zasobnych w słabo zmineralizowaną wodę piasków i piaskowców bogucickich, należało liczyć się z możliwością wystąpienia szkód w zabudowie i naruszenia ciągłości powierzchni terenu. W 1992 roku rozpoczęto okresowe badania grawimetryczne w wytypowanej centralnej części obszaru górniczego (Brudnik *et al.* 1995, 1997, 2001, Madej *et al.* 2000, Kortas 2004), którego powierzchnia znacznie przekraczała rozwijającą się nieckę obniżen i wynosiła ok. 1.2 km². Obszar badań rozciągał się od północy od ulicy Konopnickiej po ulice: Batorego i Górsko, szyb Górsko oraz ulicę Matejki na południu. Ze wschodu rejon badań ograniczała linia przechodząca przez szyb Regis i ulicę Goliana, a od zachodu – okolice ulicy Matejki i Nowy Świat oraz park Mickiewicza i starą piaskownię.

Obszar szczegółowych badań grawimetrycznych został przedstawiony na tle odkrytej mapy geologicznej rejonu złoża wielickiego wg Garlickiego & Szybista 1995. Zdjęcie grawimetryczne obejmuje od północy warstwy grabowieckie, chodenickie, północną granicę bryłowego oraz pokładowego złoża solnego, czapę iłowo-gipsową. Swoim zasięgiem przekracza północną granicę obszaru górniczego kopalni (Fig. 1).

POMIARY

Zadaniem cyklicznych powierzchniowych pomiarów grawimetrycznych jest badanie i śledzenie stanu górotworu pod wpływem odwadniania, w obrębie północnego przedpola złoża solnego Wieliczki, głównymi wyciekami kopalnianymi.

Pierwsze dwa zdjęcia grawimetryczne wykonano na przełomie maja i czerwca oraz w sierpniu 1992 roku, czyli pierwsza seria pomiarów miała miejsce ponad miesiąc, a druga cztery miesiące od gwałtownego wypływu solanki nienasyconej w kwietniu 1992 roku w poprzeczni Mina na poz. IV. Pomiary wykonano we wstępnie wytyczonych, rozproszonych i doraźnie zastabilizowanych punktach. Od trzeciej serii pomiarowej obserwacje były powtarzane w punktach zastabilizowanych trwale (rury żeliwne wypełnione betonem i osadzone w otworach o głębokości 0.5 m do 1.5 m, w ich górnej części znajduje się czop mosiężny ze znakiem pozwalającym precyzyjnie określać położenie punktu). W bezpośrednim otoczeniu na powierzchni nad poprzeczną Mina usytuowano regularną siatkę obserwacyjną. W obszarze zabudowanym te punkty utworzyły siatkę punktów rozproszonych (Fig. 2). Stanowiły one uzupełnienie wcześniej istniejących punktów geodezyjnych linii obserwacyjnych: Daniłowicz i Kopernik (Szewczyk 2001). Te wszystkie punkty (łącznie około 200) spełniają wymagania szczegółowych badań grawimetrycznych i precyzyjnych pomiarów geodezyjnych. Do końca 1994 roku, tj. do momentu, kiedy przestały występować gwałtownie, pulsacyjne o bardzo zmiennym natężeniu wypływy, wykonano osiem serii powierzchniowych zdjęć grawimetrycznych. Kolejne cztery serie wykonano pod koniec lat: 1995, 1999, 2006 i 2007.

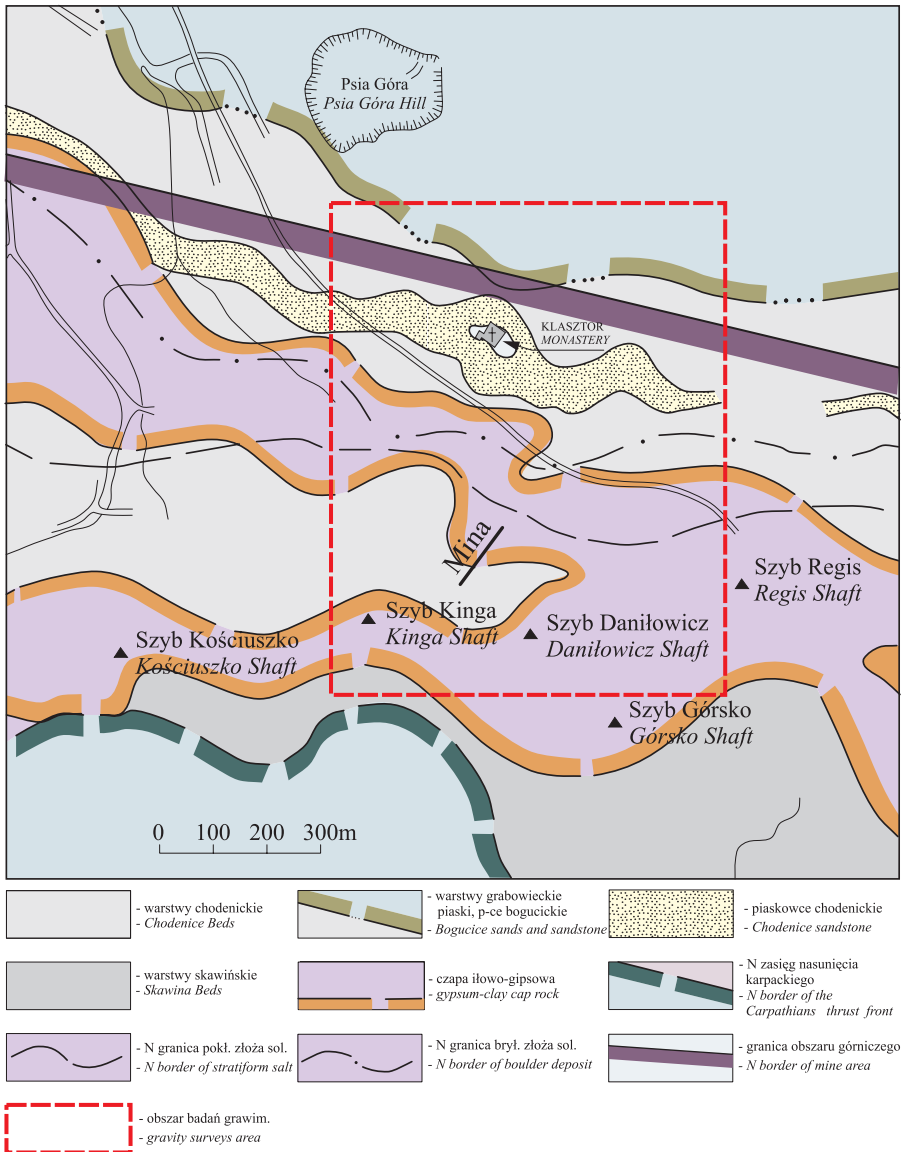


Fig. 1. Mapa geologiczna odkryta rejonu badań grawimetrycznych (wg Garlickiego & Szybista 1995)

Fig. 1. Geological map with gravity surveys area (acc. to Garlicki & Szybist 1995)

Każdy z dwunastu cykli pomiarów grawimetrycznych, wykonywanych grawimetrem Autograv CG-3 produkcji kanadyjskiej, zrealizowanych od 1992 roku do 2007 roku, określał bieżący stan północnego przedpoła kopalni. Z północnego skrzydła kotliny stale przemieszczają się znaczne masy wody i drobnego materiału skalnego w kierunku północnej granicy złoża solnego, zasilając dopływy kopalniane.

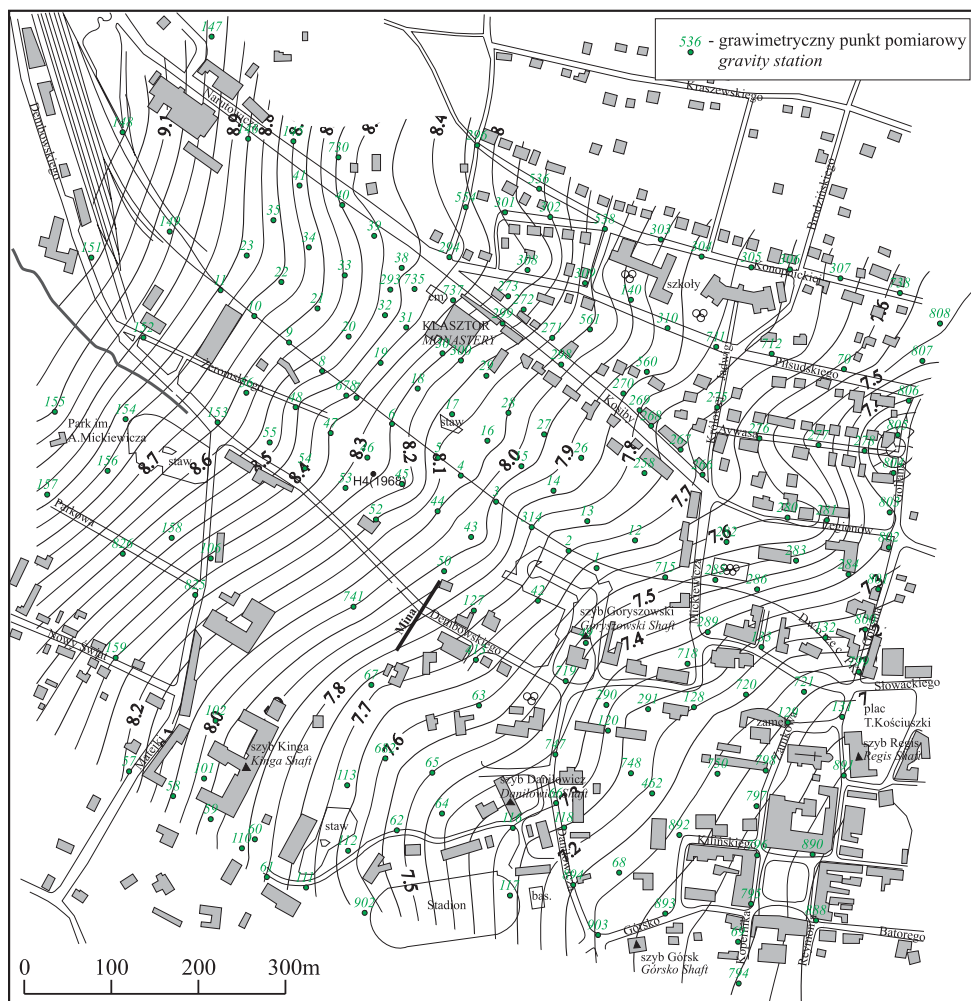


Fig. 2. Rozkład anomalii siły ciężkości w redukcji Bouguera (izolinie co 0.05 mGal) z punktami grawimetrycznymi

Fig. 2. Distribution of Bouguer anomalies (isolines by 0.05 mGal) with gravity points

Zmiany w obrazie różnicowych anomalii siły ciężkości i obserwowane przemieszczenia górotworu w Wieliczce są związane z zagrożeniami wodnymi. Kolejnym wdarciem wód do złoża połączonym z wynoszeniem materiału skalnego do wyrobisk kopalni towarzyszą: rozluźnienia ośrodka skalnego, zmiana prędkości przemieszczeń i powstawanie deformacji powierzchni oraz zmiany własności geotechnicznych bezpośredniego podłoża budowlanego (Brudnik *et al.* 1997).

Znaczne zróżnicowanie gęstości w obrębie wielickiego ośrodka skalnego pozwala na zastosowanie tu metody grawimetrycznej. Na północ od otuliny złoża – czapy iłowo-gipsowej – występują warstwy skawieńskie reprezentowane m.in. przez piaskowce chodenickie

o bardzo niskiej gęstości i dużej porowatości, niskiej wytrzymałości, często pokruszone (Gawęł 1962, Poborski & Skoczylas-Ciszewska 1963, Garlicki & Wiewiórka 1989, Garlicki & Szybist 1995). Są to skały zbiornikowe gromadzące wodę i uczestniczące w przepływie wód podziemnych do złoża. W ich obrębie w otworach odwierconych po katastrofie wodnej w 1992 roku obserwowano znaczne wahania poziomu wód. Stąd proces dynamiczny, w obrębie północnego przedpola, wiążący się ze zmianami gęstości ośrodka skalnego w trakcie wahań poziomu wód podziemnych, odwadniania, sufozji i erozji podziemnej może być widoczny w obrazie czasowych zmian anomalii siły ciężkości.

INTERPRETACJA

Obserwacje grawimetryczne pozwoliły na obliczenie i wykreślenie rozkładu anomalii siły ciężkości w redukcji Bouguera (Fig. 2). W rozkładzie pola siły ciężkości zaznacza się tendencja wzrostu jego wartości z południowego wschodu na północny zachód związana z regionalną budową geologiczną. Amplituda zmian wartości pola wynosi ok. 2.2 mGal. W rozkładzie wyróżniają się trzy charakterystyczne strefy zmian natężenia siły ciężkości różniące się kierunkiem i gradientem pola. Na południu obszaru badań występuje strefa zaburzona niskogęstościowym złożem solnym. W tej części zdjęcia grawimetrycznego położenie złoża opisują w rozkładzie anomalii rezydualnych ujemne anomalie A i B (Fig. 3). W centralnej części zdjęcia jest widoczna strefa podwyższonego gradientu poziomego siły ciężkości o przebiegu z południowego wschodu na północny zachód. Ostatnia strefa, położona na północ od ulic Narutowicza i Kosiby, charakteryzuje się zmniejszonym gradientem poziomym i lokalnymi zaburzeniami rozkładu.

Z pola siły ciężkości wyodrębniono anomalie rezydualne (Fig. 3), aproksymując pole regionalne wielomianem stopnia czwartego. W rozkładzie anomalii rezydualnych siły ciężkości wydzielono anomalie oznaczone literami A, B, C, D, E, J, K, L, N.

Analiza materiałów geologiczno-inżynierskich, kartograficznych (Biel 1995), wierceń i danych górniczych uzyskanych z archiwum kopalni pozwoliła na przyporządkowanie wydzielonych anomalii rezydualnych przypowierzchniowym strukturom geologicznym i antropogenicznym. Anomalie A, B, E, K, N (Fig. 3) pochodzą od płytko położonych struktur antropogenicznych, pozostałe C, D, J, L i nieoznaczona anomalia z maksimum w rejonie skrzyżowania ulic Kopernika i Górsko są związane z elementami lokalnej budowy geologicznej tego rejonu. Struktura L to strefa o podwyższonej gęstości w stosunku do otoczenia zbudowana z mułowców i iłowców stanowiących bezpośrednie podłoże budowlane najstarszych części zabudowań klasztoru. Ten element budowy jest również pokazany na figurze 6. Ostatnia nieoznaczona anomalia to rejon Górnego Rynku Wieliczki, gdzie nie prowadzono eksploatacji. Ujemna, koncentryczna anomalia D na północnym zachodzie rozkładu anomalii rezydualnych opisuje południowy zasięg strefy występowania piasków i piaskowców bogucickich (warstwy grabowieckie) o bardzo niskiej gęstości (Fig. 3). W jej obrębie występują lokalne deniwelacje spągu tej rynnowej struktury geologicznej wypełnionej niezmineralizowaną wodą. Struktura ta kontynuuje się w kierunku wschodnim już poza tym fragmentem regionalnego zdjęcia grawimetrycznego (Skoczylas-Ciszewska & Kolasa 1959, Brudnik *et. al.* 1997, 2001).

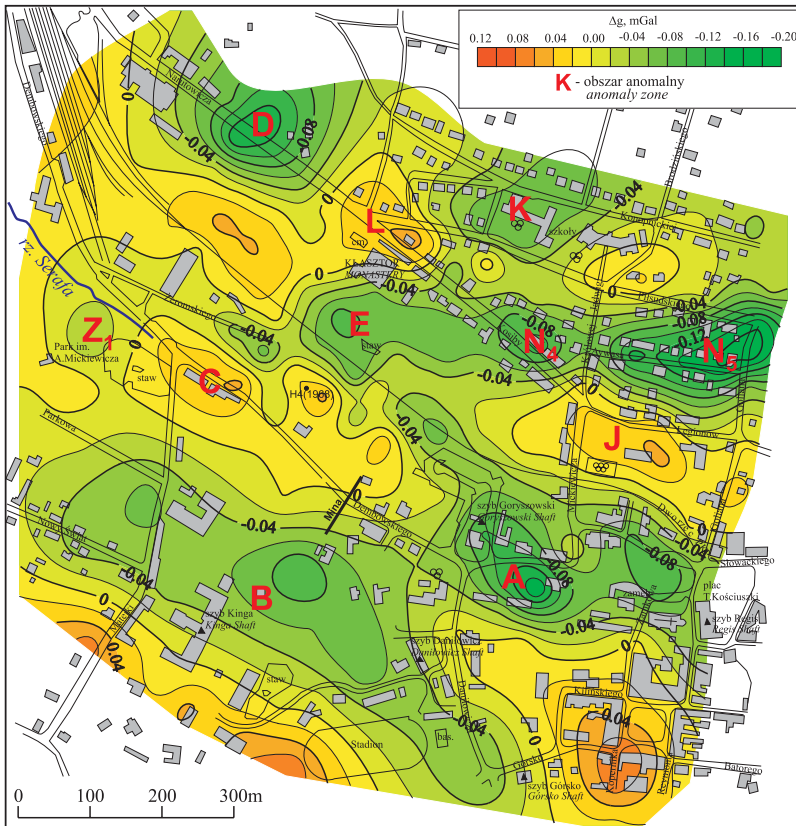


Fig. 3. Rozkład anomalii rezydualnych siły ciężkości

Fig. 3. Distribution of residual anomalies

Struktury antropogeniczne odpowiadające kolejnym ujemnym anomaliami to (Fig. 3):

- A – Rejon najstarszej eksploatacji studniami solankowymi najpłytszych partii złoża bryłowego i od XIII wieku podziemnej eksploatacji soli do poziomu 65 m p.p.t., szybem Świętosławski o nieznanym dokładnie położeniu i szybem Horyszowski, a także obszar zapadlisk: na S od tej anomalii nad komorami Małdrzyk i Gmińskie z XVI w., Opatkowiec z XVII w. oraz na N od tej anomalii zapadlisko nad komorami Gołębje, Gawrony, Bąkle z XVIII w.
- B – Rejon eksploatacji złoża solnego szybami: Górsko, Daniłowicz, Paderewski, Kinga wraz z zapadliskami nad komorami Włodkowice, Kręciny (XVIII w.), Rex (XIX w.).
- E – Strefa rozgęszczeń ośrodka skalnego po katastrofalnym wypływie wody w 1992 roku w poprzeczni Mina. W zachodniej części tej anomalii występowały największe prędkości osiadań (Fajkiewicz *et al.* 1996, Kortas *et al.* 2004), a na południowym wschodzie łączy się ona z anomalią A, przerywając czapę ilowo-gipsową złoża. Przebieg czapy wyznaczają dodatnie anomalie C i J. Jej przebieg jest bardzo zbliżony do północnej granicy wielkiego złoża solnego (Fig 1).

- K – Strefa przypowierzchniowych dopływów wód z północnego wschodu uaktywniona po katastrofalnym wypływie w poprzeczni Mina. Istnienie niezmineralizowanych stałych dopływów wód zostało potwierdzone badaniami geoelektrycznymi (Fajklewicz *et al.* 1995).
- N – Rejon zapadliska w otoczeniu starej poczty i skrzyżowania ulic Goliana z Sienkiewicza. Powstało ono po katastrofalnym 11-letnim wypływie wód w drugiej połowie XIX w. w poprzeczni Kloski i Colloredo.

Proces rozwoju sufozji i erozji podziemnej w ośrodku skalnym północnego przedpola Myny w okresie od 1992 r. do końca 1994 r. obrazuje rozkład anomalii różnicowych siły ciężkości: seria 8 – seria 3 (Fig. 4).

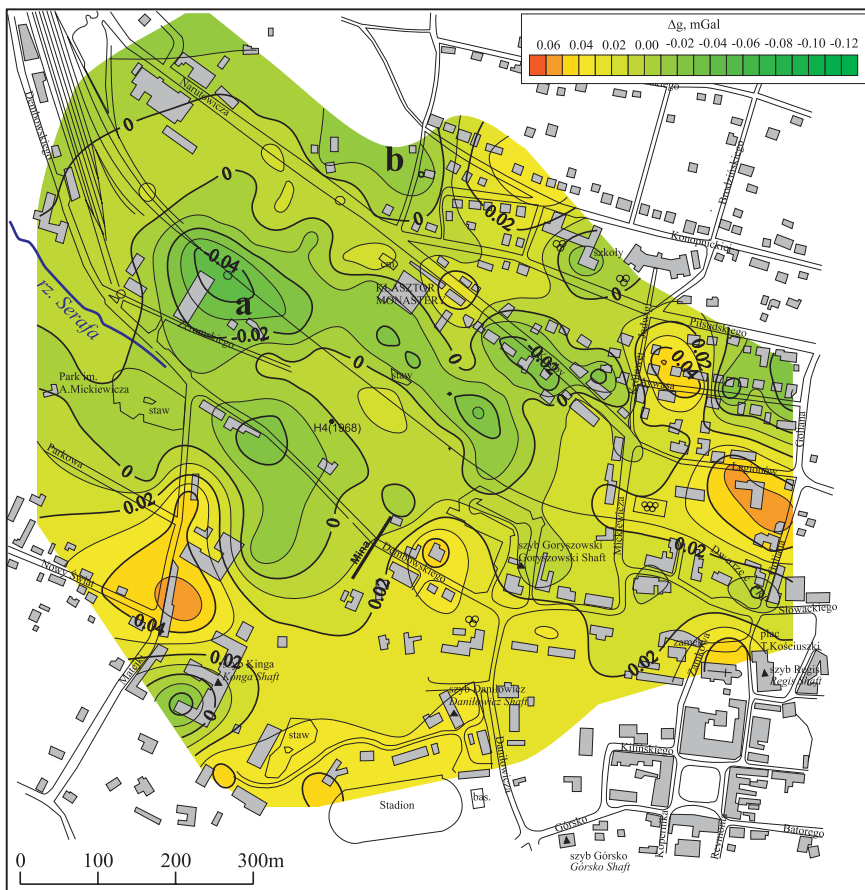


Fig. 4. Rozkład anomalii różnicowych siły ciężkości (seria 8 – seria 3)
Objaśnienia w tekście

Fig. 4. Distribution of temporal gravity changes (series 8 – series 3)
Explanations in text

W tym czasie miały miejsce liczne gwałtowne zwiększenia natężenia wypływu wód w poprzeczni Mina połączone z wypływem drobnego materiału skalnego. Wypływająca mieszanina zawierała incydentalnie do 80% frakcji stałej. Generalnie w rozkładzie anomalii różnicowych siły ciężkości są widoczne cztery pola ujemnych anomalii siły ciężkości. Pierwsze pole obejmuje rejon od ulicy Kosiby po ulicę Konopnickiej, drugie zaznacza się na zachód od zabudowań zespołu klasztornego, w rejonie dawnego osuwiska przy ulicy Narutowicza. Kolejne pole znajduje się na obszarze dawnej warzelni oraz parku Mickiewicza i rozwija się w kierunku szybu Kinga. Pola łączy ujemna anomalia różnicowa usytuowana w obrębie anomalii rezydualnej E (Fig. 3). Anomalia różnicowa przebiega wzdłuż toru, na południe od klasztoru, do dawnego dworca PKS (obecnie parking) i zamku (Fig. 4). Na południowym wschodzie połączyła się ona z anomalią rezydualną A (strefa najstarszej eksploatacji złoża i zapadliska z XVIII w.). Całkowita zmiana wartości anomalii różnicowych siły ciężkości w obrębie zdjęcia grawimetrycznego osiągnęła wartość -0.09 mGal. Minimalne wartości anomalii nie występują w bezpośrednim sąsiedztwie poprzeczni Mina, lecz w rejonie na południe od rowu erozyjnego wypełnionego piaskami i piaskowcami bogucickimi (południowy zasięg tej struktury wyznacza anomalia rezydualna D – Fig. 3) w okolicy ulicy Żeromskiego, gdzie w przeszłości miały miejsce powierzchniowe wycieki wody. Badania geoelektryczne, po katastrofalnym wypływie w poprzeczni Mina, potwierdziły istnienie dosyć rozległej strefy dopływu wód słabo zmineralizowanych z piasków i piaskowców bogucickich oraz ich odpływu w kierunku dawnej warzelni (Fajkiewicz *et al.* 1995). Zasięg obszaru ujemnych różnicowych anomalii siły ciężkości świadczył o masowym charakterze procesów sufozji i erozji wgłębnej, związanych z katastrofalnym wypływem w poprzeczni Mina w roku 1992.

Rozkład anomalii różnicowych seria 12 – seria 3 (Fig. 5) obrazuje rozwój procesu migracji mas w wielickim ośrodku skalnym w okresie od 1992 r. do 2007 r.

Niepokojące jest istnienie ujemnych różnicowych anomalii w północnej części badanego obszaru. Anomalie te obejmują obszar rowu erozyjnego Bogucic, rejon ulicy Kosiby i sięgają zapadlisk po XIX-wiecznym wycieku w rejonie ulicy Goliana. Zasięg powierzchniowy anomalii może świadczyć o powolnym obniżaniu się poziomu wód, spowodowanym ich odpływem w kierunku północnej granicy złoża. Na rozkładzie anomalii różnicowych (Fig. 5) widoczna jest kontynuacja tych anomalii w kierunku południowym i zachodnim. W roku 1972, w północnej części tego obszaru, po zwiększonym wypływie wody w poprzeczni Fornalska nastąpił zanik wód powierzchniowych. Może to świadczyć o stałym odpływie wód z tego rejonu na południe (Sękiewicz & Romański 1995). Rejon ten, jak wynika z badań grawimetrycznych i elektrooporowych (Fajkiewicz *et al.* 1995), uaktywnił się ponownie po katastrofalnym wypływie wód w poprzeczni Mina w kwietniu 1992 roku. Figura 6 przedstawia poglądowy przekrój geologiczny tego rejonu wg K. Brudnika i A. Szybista zweryfikowany szczegółowymi badaniami grawimetrycznymi (Garlicki & Szybista 1995). Ponad tym poglądowym przekrojem wzdłuż profilu NS (Fig. 5) o przebiegu od skrzyżowania ulic Reformackiej i Konopnickiej w kierunku szybu Kinga wykreślono zmiany wartości anomalii siły ciężkości Δg z serii: 3, 8, 11 i 12 (Fig. 6). Obliczone wartości anomalii siły ciężkości dla serii 3 przyjęto jako poziom odniesienia równy 0. W serii 8, a więc po półtorarocznym okresie gwałtownego wypływu wód w poprzeczni Mina, widać skutki odwodnienia strefy piasków i piaskowców bogucickich (Fig. 4 – b) oraz rejonu na południowy zachód od klasztoru w kierunku do toru (Fig. 4 – a), który był zawsze podmokły.

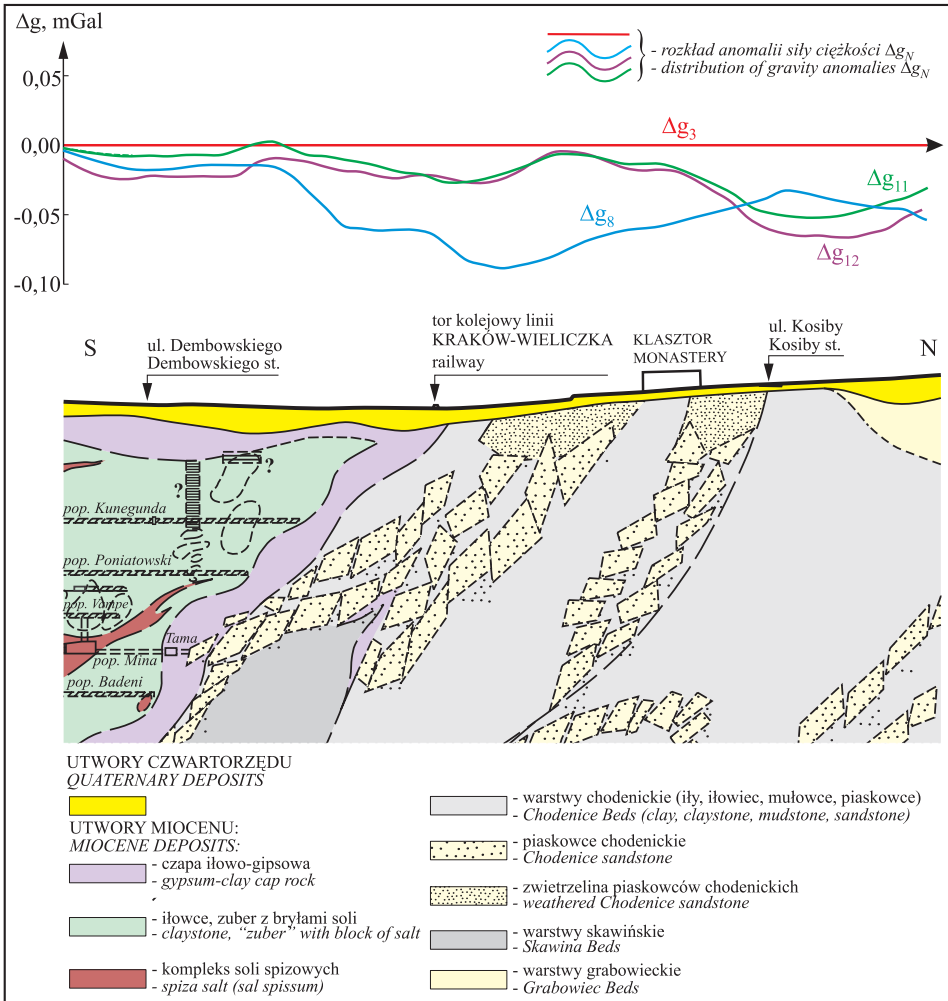


Fig. 6. Przekrój geologiczny NS rejonu poprzeczni Mina z rozkładami wartości anomalii siły ciężkości Δg_n (wg Brudnika & Szybista 1995)

Fig. 6. The geological NS cross-section through Mina crosscut with distribution of gravity anomalies Δg_n (acc. to Brudnik & Szybist 1995)

W rozkładzie anomalii różnicowych (Fig. 5) wyraźnie uwidocznia się dodatnia anomalia o przebiegu równoleżnikowym, wzdłuż toru kolejowego. Wskazuje ona, że wzdłuż północnej granicy złoża następuje zagęszczenie ośrodka skalnego (kolmatacja). Bardzo dobrze proces ten widać, jeśli porówna się rozkłady anomalii różnicowych: seria 12 – seria 3 (Fig. 5) i seria 8 – seria 3 (Fig. 4). Pomiędzy październikiem 1994 r. a październikiem 2007 r. następowało stałe, wolne dogęszczanie przypowierzchniowego ośrodka skalnego wzdłuż północnej granicy złoża do stanu, jaki obserwowany był w okresie początkowych badań grawimetrycznych, tj. w połowie 1992 roku.

W trakcie prac zabezpieczających po katastrofalnym wypływie wody w poprzeczni Mina wykonano lokalne podsadzenia, iniekcje i uszczelnienia z otworów odwierconych wokół północnej strefy poprzeczni. Wynik tych prac, podjętych na niewielkim obszarze w stosunku do powierzchni zobrazowanej na szczegółowym zdjęciu grawimetrycznym, nie jest widoczny w rozkładzie anomalii różnicowych siły ciężkości.

Przeprowadzone w roku 2006 i 2007 badania grawimetryczne (seria 11 i seria 12) pozwoliły na określenie bieżącej dynamiki zjawisk zachodzących w górotworze wielickim. Rozkład anomalii różnicowych seria 12 – seria 11 (Fig. 7) pokazuje, że wartości zmian siły ciężkości w ciągu roku niewiele przekraczają dokładność pomiaru grawimetrem CG-3 wynoszącą 0.01 mGal. Niemniej jednak rozkład może wskazywać na dalsze, powolne zagęszczanie się ośrodka skalnego na północnym przedpolu poprzeczni Mina, choć dynamika tego zjawiska jest niewielka.

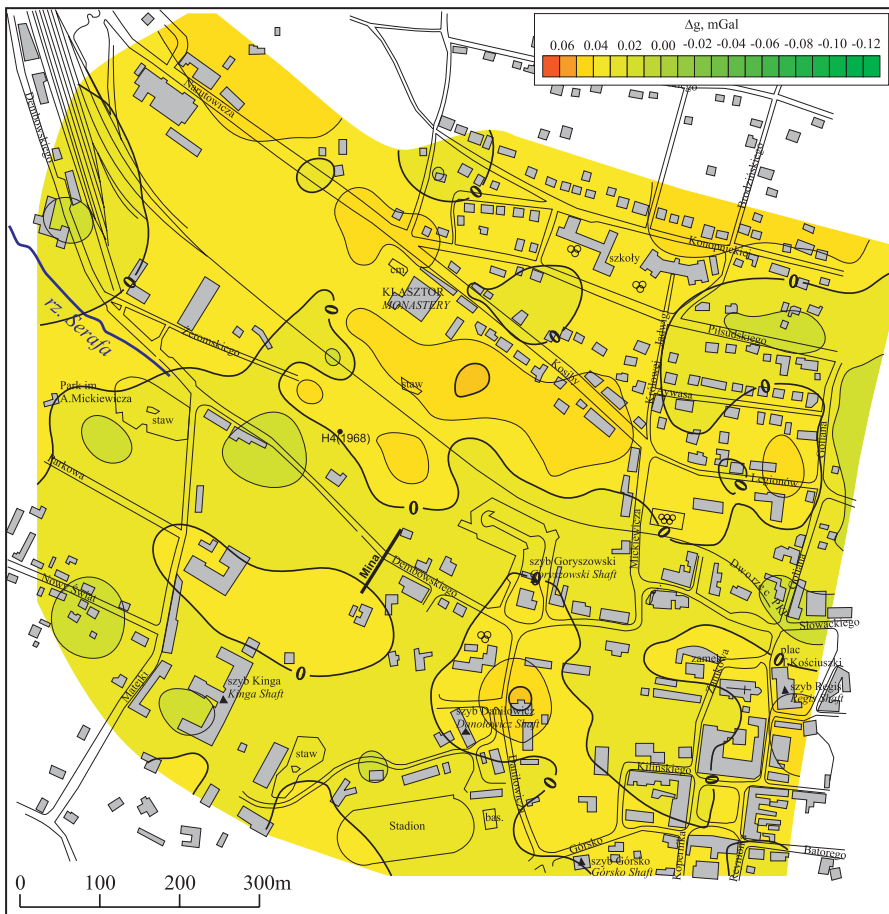


Fig. 7. Rozkład anomalii różnicowych siły ciężkości (seria 12 – seria 11)

Fig. 7. Distribution of temporal gravity changes (series 12 – series 11)

PODSUMOWANIE

Rozwój i przebieg procesu fizycznego – migracji masy w ośrodku skalnym – odzwierciedlił się w obrazie różnic siły ciężkości. Początkowo śledzono rozwój i zasięg sufozji oraz erozji podziemnej, a od roku 1995 w rozkładach anomalii różnicowych siły ciężkości ujawniła się wolna kumulacja mas na północ od granicy złoża. Może to mieć związek ze stabilizacją, na stałym poziomie natężenia dopływu wody, kolmatacją górotworu północnego przedpoła kopalni, a także być wynikiem ujęcia, ograniczenia i kontroli wypływu wód w poprzeczni Mina.

W rejonie rozwijającego się pasa ujemnych anomalii różnicowych siły ciężkości na północy obszaru zobrazowanego na szczegółowym zdjęciu grawimetrycznym mogą pojawić się w przyszłości zwiększone osiadania i naruszenia ciągłości powierzchni terenu.

Badania grawimetryczne wykonane w roku 2006 i 2007 wykazały odbudowywanie się stanu górotworu wielickiego w jego części centralnej do stanu z roku 1992. Nastąpiło również dogęszczenie górotworu, w rejonach osłabionych wskutek katastrofalnego wypływu wód w poprzeczni Mina. Proces ten na pewno objął swoim zasięgiem przypowierzchniową partię górotworu, nie wiadomo jednak, czy zjawisko to dotyczy również bezpośredniego otoczenia poprzeczni Mina na poziomie IV kopalni.

Praca została wykonana w Katedrze Geofizyki WGGiOŚ AGH w ramach działalności statutowej um. 11.11.140.455 w latach 2006–2007.

LITERATURA

- Alexandrowicz Z., 2000. Zarys budowy geologicznej wielickiego złoża soli. *Studia Naturae*, PAN IOP, Kraków, 11–18.
- Biel A., 1995. Odwzorowanie przestrzenne jako forma wspomaganie prac koncepcyjnych związanych z zabezpieczeniem zabytkowej Kopalni Soli Wieliczka. *Materiały z III Spotkania Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego*, Wieliczka 18–19.09.1995, 80–90.
- Brudnik K., Fajkiewicz Z. & Jakiel K., 1997. Grawimetryczny obraz zagrożeń wodnych w obszarze górniczym KS Wieliczka. Konferencja – Szkoła Eksploatacji Podziemnej'97, Szczyrk 24–28.02.1997, *Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej*, 501–508.
- Brudnik K., Jakiel K., Madej J. & Porzucek S., 2001. Zagrożenie zabudowy miejskiej Wieliczki ze strony struktur antropogenicznych w świetle badań grawimetrycznych. *Materiały z Sympozjum Warsztaty'2001 „Przywracanie wartości użytkowych terenom górniczym”*, Wieliczka 29.05–1.06.2001, PAN IGSMiE, Kraków, 423–432.
- Brudnik K., Jakiel K. & Przybyło J., 1995. Charakterystyka hydrogeologiczna górotworu północnego przedpoła poprzeczni Mina. *Materiały z III Spotkania Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego*, Wieliczka 18–19.09.1995, 107–108.
- Fajkiewicz Z., Jakiel K. & Kucharska S., 1995: Przepływ wody w ośrodku przypowierzchniowym w centralnej części OG KS Wieliczka w świetle badań geoelektrycznych po wypływie w poprzeczni Mina w 1992 r. *Materiały z III Spotkania Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego*, Wieliczka 18–19.09.1995, 113.

- Fajkiewicz Z., Jakiel K., Madej J., Porzucek S., 1996. Teoria informacji w grawimetrycznym prognozowaniu wystąpień deformacji nieciągłych powierzchni terenu. *Konf. Nauk.-Techn. „Informatyka w geodezji górniczej”*, Kraków 18–19.10.1996, 161–168.
- Gaweł A., 1962. Budowa geologiczna złoża solnego Wieliczki. *Prace Instytutu Geologicznego*, XXX, III, 305–327.
- Garlicki A. & Wiewiórka J., 1989. Miocen okolic Wieliczki. *Przewodnik LX Zjazdu PTG*, Kraków 14–16.09.1989, Wyd. AGH, Kraków, 97–102.
- Garlicki A. & Szybist A., 1995. Ogólne założenia dla zabezpieczenia Kopalni Soli Wieliczka oraz nowy obraz geologiczny złoża wielickiego. *Materiały z III Spotkania Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego*, Wieliczka 18–19.09.1995, 15–30.
- Kortas G. red., 2004. *Ruch górotworu i powierzchni w otoczeniu zabytkowych kopalni soli*. Wyd. PAN IGSMiE, Kraków.
- Madej J., Jakiel K. & Porzucek S., 2000. Doświadczenia z badań grawimetrycznych nad zagrożeniem powierzchni w różnych warunkach geologiczno-górnicznych. *Materiały Sympozjum Warsztaty'2000 „Zagrożenia naturalne w górnictwie”*, Ustroń Śląski 29–31.05.2000, PAN IGSMiE, Kraków, 99–105.
- Poborski J. & Skoczylas-Ciszewska K., 1963. O miocenie w strefie nasunięcia karpackiego w okolicy Wieliczki i Bochni. *Rocznik PTG*, XXXIII, 3, 339–348.
- Skoczylas-Ciszewska K. & Kolasa M., 1959. O piaskach bogucickich. *Rocznik PTG*, XXVIII, 3, 285–309.
- Sękiewicz J. & Romański R., 1995. Charakterystyczne wycieki i dopływy do Kopalni Soli Wieliczka. *Materiały z III Spotkania Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego*, Wieliczka 18–19.09.1995, 138–143.
- Sweczuk J., 2001. Długookresowe zmiany ukształtowania powierzchni terenu Wieliczki pod wpływem procesów zachodzących w górotworze. *Materiały z Sympozjum Warsztaty'2001 „Przywracanie wartości użytkowych terenom górniczym”*, Wieliczka 29.05 – 1.06.2001, PAN IGSMiE, Kraków, 407–420.

Summary

This paper presents results of surface gravimetric surveys of central and eastern part of the mining area in the salt mine Wieliczka (Fig. 1). The gravity stations were located with the distance of 50 m (Fig. 2). The CG-3 Autograv Scintrex gravimeter was applied. The mean square error of the single observation was equal of $\pm 10 \mu\text{Gal}$. The relation of measured gravity anomalies (Fig. 2) between an occurrence of local geological and anthropogenic structures has been determined. It appears that there is a strict correlation of the residual gravity anomalies with the water – bearing geological and the anthropogenic structures over the area of the interest (Fig. 3).

Analysis of temporary gravity changes within north outskirts of the Wieliczka Salt Mine area provides information about dynamic effects occurrences in Wieliczka's rockmass in 1992–2007 (Figs 4, 5). The migration of subsurface waters toward the salt deposits is a source of the suffosion and of underground erosion process in considerable parts

of the rockmass. The centuries-old mining of the central part of the deposit, destroying its north border (gypsum-clay cap rock) and the flow of subsurface waters expand degradation in this area. It is often possible to observe zones of anomalies in the temporal gravity changes before decreases of the surface could be measurable (Figs 4, 5). The geological NS cross-section through Mina crosscut and distribution of gravity anomalies Δg_n are presented in figure 6.

Gravity surveys made in 2006 and 2007 allow the determination of the current dynamism of occurrences in Wieliczka's rockmass. Distribution of temporal gravity changes in these years (Fig. 7) is pointing at more distant, slow condensation of rockmass on north outskirts the Mina crosscut; dynamics of this phenomenon are little. Thus being rebuilt the state of Wielicka's rockmass in its central part is returning to the state from 1992. The rockmass condensation is a consequence of accumulation of waters in the areas weakened as a result of the disastrous leakage in Mina crosscut.