

Cezary Ostrowski, Adam Koryczan, Krystyna Ostrowska, Małgorzata Piśuła  
*Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Spółka z o.o., Warszawa*

Jaromir Probulski

*Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo SA, Oddział Geologii i Eksploatacji, Warszawa*

## Udział grawimetrii w kartowaniu struktur geologicznych w Karpatach

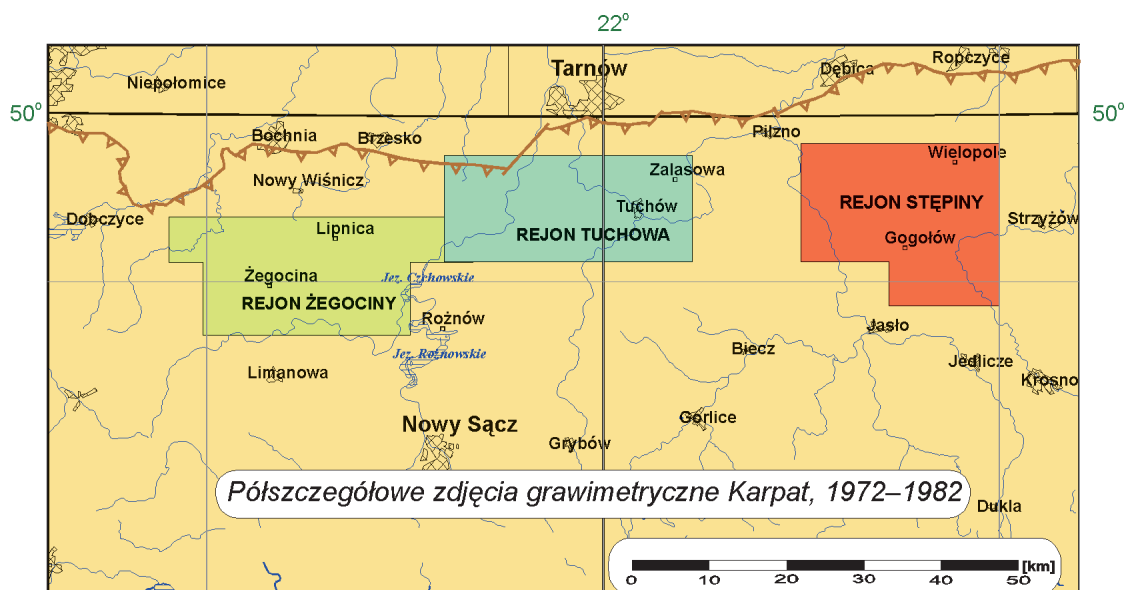
### Wstęp

Współcześnie wykonywane zdjęcia grawimetryczne przekonują o dużych, choć wciąż niedocenianych możliwościach tej metody w badaniu budowy górotworu. Perspektywy te wydatnie zwiększyły się w ostatnich latach. Wpłynęła na to znaczna poprawa dokładności współcześnie produkowanych grawimetrów z automatycznym zapisem danych. Pozwalają one mierzyć przyspieszenie ziemskie z bardzo dużą rozdzielczością, przy powtarzalności zbliżonej do  $5 \mu\text{Gal}$  ( $5 \cdot 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ). Pomiar są dowiązywane do nowej osnowy grawimetrycznej Polski, stanowiącej część międzynarodowego systemu odniesienia. Nie bez znaczenia jest też pojawianie się na rynku specjalistycznych programów interpretacyjnych, które oprócz wizualizacji wyników dają możliwość ich bezpośredniego wykorzystania w zintegrowanej analizie geofizyczno-geologicznej.

Postęp metodyczny objął też geodezję, standardowo towarzyszącą grawimetrii. Wykorzystanie techniki GPS pozwoliło na wyznaczanie współrzędnych geograficznych punktów pomiarowych z dokładnością do kilku metrów przy zdjęciach grawimetrycznych obejmujących obszary rzędu kilkuset  $\text{km}^2$  i większych. Doprecyzowaniu uległa też istotna dla pomiarów grawimetrycznych poprawka na ukształtowanie powierzchni Ziemi, którą wyliczać można w oparciu o odwzorowania morfologii terenu uzyskane drogą satelitarną.

Nie tylko wzrost dokładności pomiarów grawimetrycznych przemawia za ich szerszym stosowaniem. Pomijając inne zalety, z czysto poszukiwawczego punktu widzenia najistotniejsza jest ta, że nie ma utworów skal-

nych, które nie oddziaływałyby na będące przedmiotem zainteresowania grawimetrii pole grawitacyjne, tak jak to bywa np. w przypadku ewaporatów pochłaniających energię fal sejsmicznych. Jest to jeden z powodów, dla których uzyskany obraz anomalii w redukcji Bouguera staje się rzeczywistym odzwierciedleniem grawitacyjnego oddziaływania wszystkich zróżnicowanych gęstościowo utworów skalnych zalegających pod powierzchnią objętą badaniami. Mapa anomalii Bouguera należy do klasyki grawimetrii i jest podstawą do dalszych analiz i transformacji. Metody transformacji dobierane są pod kątem wydzielenia, zalegających na różnych głębokościach, elementów strukturalnych i/lub ciał generujących efekty grawitacyjne, stosownie do postawionego przed interpretatorem zadania [7]. Należy przy tym mieć na uwadze zasadę wieloznaczności, która najogólniej przedstawiona mówi, że różne usytuowania mas w ośrodku geologicznym mogą wywołać identyczny rozkład anomalii siły ciężkości. Dlatego analiza wyników badań grawimetrycznych odbywa się z uwzględnieniem wszelkiej dostępnej wiedzy geologicznej, górniczej i wiertniczej z obszaru badań. Pozwala to ograniczyć wieloznaczność interpretacji [3]. Natomiast jej trafność wzrasta, gdy dysponujemy dodatkowymi informacjami uzyskanymi przez uzupełniające grawimetrię inne metody geofizyki poszukiwawczej. Powyższe kryteria zostały spełnione dla badań, z których wybrano przykłady ilustrujące przydatność grawimetrii w kartowaniu struktur geologicznych w Karpatach (rysunek 1), a uzupełniały je wyniki metody magnetotelurycznej i sejsmicznej.



Rys. 1. Obszary wybranych badań grawimetrycznych

### Grawimetryczny obraz zmian litologii i tektoniki utworów przypowierzchniowych w rejonie Żegociny

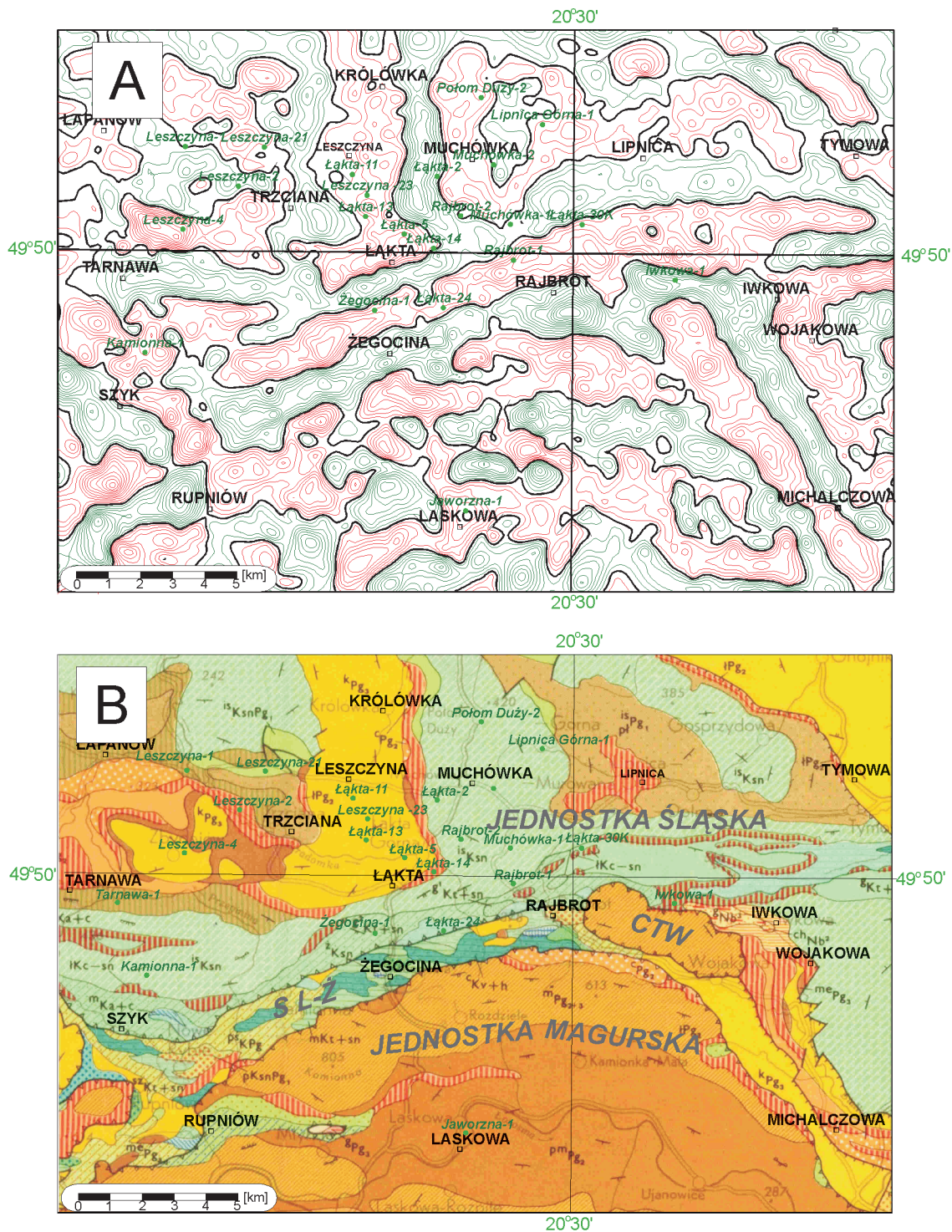
Efekt grawitacyjny generowany przez masy zalegające płytko pod powierzchnią Ziemi jest zwykle mało czytelny na mapie anomalii w redukcji Bouguera, będących sumą grawitacyjnego oddziaływania wszystkich kompleksów skalnych leżących pod powierzchnią pomiarową. Jego źródłem są zazwyczaj elementy strukturalne i/lub litologiczne niższego rzędu, o lokalnym na ogół zasięgu. Te zaburzenia (anomalie) pola siły ciężkości są maskowane przez silne pole regionalne pochodzące od głębokiego podłoża. Zminimalizowanie jego wpływu, a tym samym uwydatnienie efektów pochodzących od utworów warstwy przypowierzchniowej, osiąga się poprzez transformację anomalii Bouguera np. metodą Griffina [2] lub na drodze filtracji częstotliwościowej [3]. Powoduje to rozdzielenie anomalii regionalnych i anomalii rezydualnych. Te pierwsze pochodzą od skał zalegających poniżej zadanej głębokości, a drugie wywołane są przez kompleks usytuowany między poziomem odniesienia i założonym poziomem rozpoznania.

W interpretacji zdjęcia grawimetrycznego z rejonu Żegociny w Karpatach środkowych [6] przekształcono anomalie Bouguera, aby zobrazować dużą zmienność litologiczno-gęstościową płytko zalegających osadów oraz ich złożoną strukturę. W tym celu opracowano rozkład anomalii rezydualnych (metodą filtracji częstotliwościowej) dla przedziału głębokości 0–0,5 km p.p.m. (rysunek 2A).

Najbardziej charakterystycznym elementem obrazu przedstawionego na rysunku 2A są naprzemianległe ciągi

anomalii rezydualnych o przeciwnych znakach i wartościach od  $-1,1$  do  $+1,1$  mGal ( $1 \text{ mGal} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ) obwiedzione strefami podwyższonego gradientu poziomego, co sygnalizuje obecność stromych granic litologiczno-gęstościowych. Szczególnie zwraca uwagę wygięty łukiem na północ ciąg ujemnych anomalii pomiędzy Szykiem, Żegociną, Rajbrotem i Michalcową. Od Szyku do Rajbrotu ma on kierunek SW–NE, szerokość  $1 \div 1,5$  km, amplitudę rzędu 1,1 mGal i obramowuje północny skraj nasunięcia płaszczowiny magurskiej. Zasięg, kształt i przebieg tych anomalii dobrze koresponduje z fragmentem strefy lanckorońsko-żegocińskiej. W oknach tektonicznych tej strefy odsłaniają się silnie zaburzone osady jednostki podśląskiej, występujące tutaj w jądrze pasma antyklinalnego jednostki śląskiej [5]. Na wysokości otworu Iwkowa-1 to pasmo ujemnych anomalii o amplitudzie 0,8 mGal oraz zmiennej szerokości od 0,4 km do 1,5 km przecina, znany z geologii, magurski płat tektoniczny Wojakowej i zmienia kierunek na NW–SE, czyli w stronę Michalczowej, biegnąc równoległe do głównego nasunięcia jednostki magurskiej. Obraz taki jest prawdopodobnie wywołany przez lżejsze utwory wypełniające synklinę Iwkowej.

Kolejny ciąg ujemnych anomalii rezydualnych, o szerokości około 1 km i amplitudzie zbliżonej do poprzedniej, zaczyna się na północ od Iwkowej i biegnie równoleżnikowo na wschód w stronę Czchowa (poza rysunkiem). Od północy towarzyszy mu strefa podwyższonego gradientu poziomego siły ciężkości. Taki układ anomalii jest od-



Rys. 2. A – rozkład anomalii rezydualnych siły ciężkości pochodzących od utworów na głębokości 0÷0,5 km (izolinie kreślono co 0,1 mGal, izolinie wartości dodatnich kolorem czerwonym, ujemnych zielonym, izolinie „zerową” czarnym); B – fragment mapy geologicznej bez czwartorzędu (według [1])

- SL-Ż – strefa lanckorońsko-zegocińska (jednostka podśląska i śląska)
- CTW – czapka tektoniczna Wojakowej (jednostka magurska)
- AAA – nasunięcie główne
- Łakta-13 – otwór wiertniczy

zwierciedleniem tzw. siodła Czchowa, w którego jądrze występują warstwy lgockie, na ogół ustępujące gęstością innym utworom jednostki śląskiej.

Do przedstawionego wyżej pasa anomalii ujemnych przylega od północy, swym wschodnim ramieniem, rozległe pasmo anomalii dodatnich o amplitudzie nie większej niż

1 mGal i zmiennej szerokości. Ciągnie się ono w kierunku zachodnim poprzez otwory Rajbrot-1, Żegocina-1 i w stronę miejscowości Szyk (rysunek 2A, 2B), a zasięgowi powierzchniowemu tych anomalii towarzyszą wychodnie warstw godulskich.

Łatwy do identyfikacji jest też kolejny łańcuch ujemnych anomalii o podobnej jak poprzednie intensywności i szerokości. Początek swój bierze w okolicach Tarnawy, ciągnie się do Łątki, a następnie skręca na NE w stronę Lipnicy (rysunek 2A, 2B). Anomalie te można wiązać z wychodniami warstw istebniańskich, wypełniających nieckę Trzciana–Leszczyna.

Nieco inny jest charakter pola grawitacyjnego na północ od poprzednio opisanego pasma anomalii. Obserwujemy tu szereg naprzemianległych dodatnich (rejon Królówki i Muchówki) i ujemnych (okolice otworu Łątki-2 i na wschód od Trzciany) anomalii, których osie mają przebieg południkowy. Natomiast pomiędzy Trzcianą a Łapanowem wyróżnia się kilka anomalii owalnego kształtu, niewielkiej amplitudy (do 0,5 mGal) i niesprecyzowanego kierunku przebiegu osi, co odzwierciedla zróżnicowanie gęstościowe osadów wypełniających środkową część niecki Trzciana–Leszczyna.

Odmienność od innych wykazuje układ anomalii występujących na południe od opisanego na wstępie ciągu form ujemnych biegnących po łuku przez Żegocinę, Rajbrot, Iwkową do Michalczowej. Obserwujemy tu szereg następujących po sobie anomalii dodatnich i ujemnych o przebiegu generalnie równoleżnikowym i amplitudach

rzędu 0,4÷0,8 mGal (rysunek 2A, 2B). Taki obraz pola grawitacyjnego modelowany jest przez najbardziej na północ wysuniętą część jednostki magurskiej, zbudowanej z górnokredowo-paleogeńskich warstw inoceramowych oraz paleogeńskich zlepieńców i piaskowców magurskich. Rozciągłości anomalii świadczą o tym, że osady tej płaszczowiny ujęte są w liczne fałdy, których osie w tym rejonie mają kierunek W–E.

Rozkład anomalii rezydualnych związanych z warstwą przypowierzchniową (0÷0,5 km) w rejonie Żegociny umożliwia śledzenie wychodni kompleksów fliszowych, określenie zasięgów powierzchniowych osadów różniących się gęstością oraz wyznaczenie przebiegu pionowych granic gęstości, często o charakterze tektonicznym. Przemawia to za stosowaniem metody grawimetrycznej do uzupełnień lub korekty powierzchniowej mapy geologicznej. Na przykład w rejonie między Rajbrotem a otworem Iwkowa-1 (rysunek 2A, 2B) można pokusić się o określenie przebiegu dyslokacji, wzdłuż której, zdaniem K. Skoczylas-Ciszewskiej, strefa żegocińska graniczy z przylegającą do niej synkliną Iwkowej. Wspomniana dyslokacja na znacznej części swego przebiegu ukryta jest pod płatem osadów magurskich [5].

Rezultaty grawimetrycznego rozpoznania pokrywy fliszowej rejonu Żegociny tym bardziej zasługują na uwagę, że osiągnięto je w obszarze obejmującym część strefy lanckorońsko-żegocińskiej, której budowa według opinii M. Książkiewicza [5] stanowi jedno z najbardziej skomplikowanych zjawisk tektonicznych Karpat fliszowych.

### Grawimetryczna interpretacja budowy strukturalnej rejonu Tuchowa

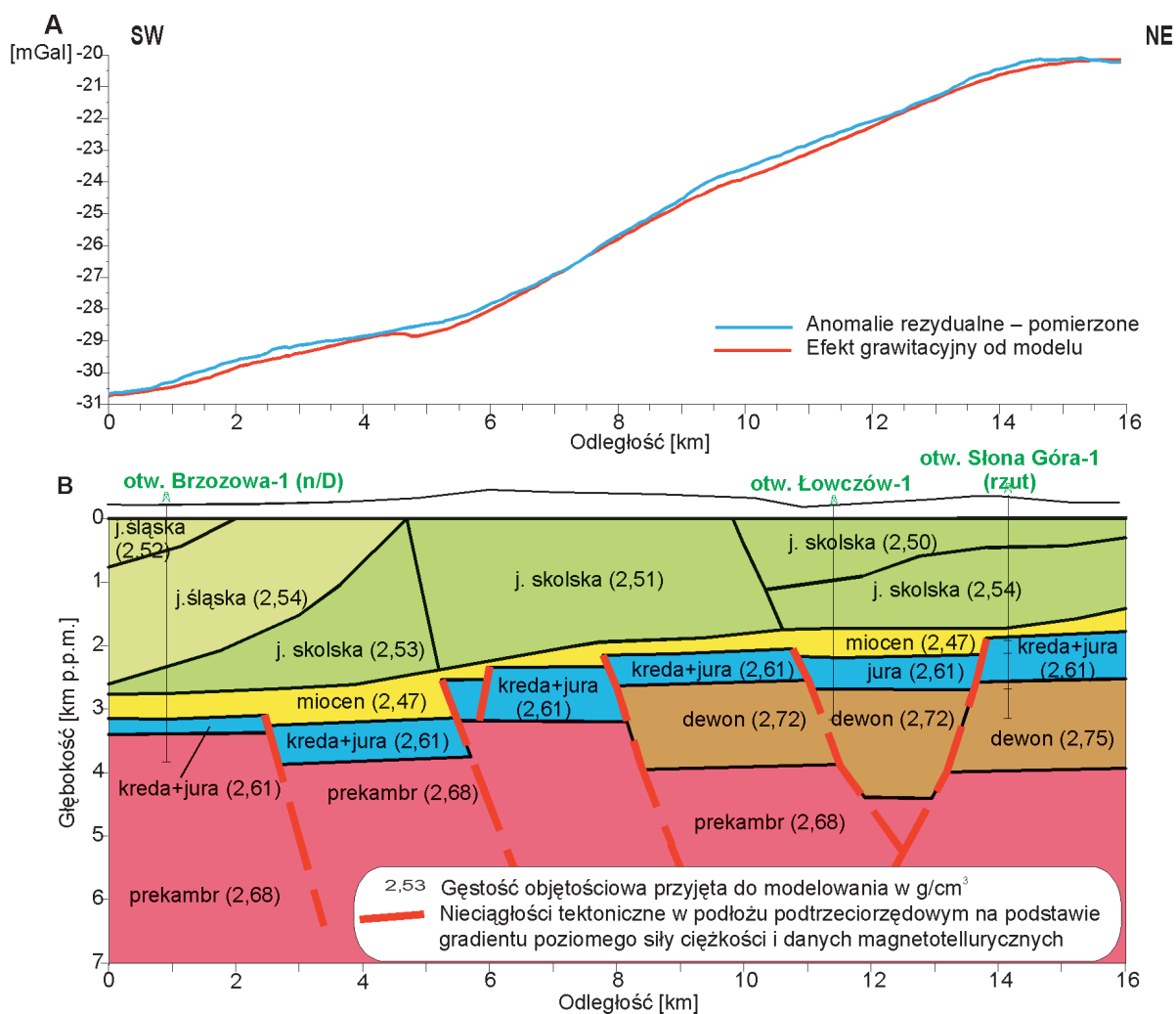
Częste jest w Karpatach występowanie niezgodnie zalegających na sobie warstw, nierzadko różniących się gęstością. W tej sytuacji efekt grawitacyjny wywołany przez interesujące z poszukiwawczego punktu widzenia osady jest słabo rozpoznawalny z powodu istotnego wpływu grawitacyjnego otaczających je utworów, przeważnie o zróżnicowanej litologii (i gęstości). Sytuacja taka ma miejsce w rejonie Tuchowa, gdzie perspektywiczne dla poszukiwań naftowych osady paleozoiczno-mezozoiczne leżą na podłożu prekambryjskim i przykryte są utworami mioceńskimi i fliszowymi. Aby pokazać ich strukturę, wykonano modelowanie gęstościowe górotworu wzdłuż linii profilowych.

Do modelowania ośrodka skalnego w pobliżu Tuchowa [8] użyto profesjonalnego programu GM-SYS 2D Modeling. Modelowanie gęstościowe polegało na aproksymowaniu poszczególnych struktur geologicznych nieskoń-

czonymi prostopadłościanami o przekrojach poprzecznych w kształcie dowolnego wielokąta zamkniętego. Każdemu z prostopadłościanów przypisywano odpowiednią do litologii gęstość objętościową. Zgodność efektu grawitacyjnego pochodzącego od opartego na takich założeniach modelu teoretycznego z pomierzonym rozkładem anomalii siły ciężkości osiągnięto na drodze kolejnych iteracji, poprzez modyfikację przekroju poprzecznego prostopadłościanów i/lub zmianę kontrastu gęstościowego.

Właściwe rozwiązanie zadania geofizycznego wymagało wykorzystania wszelkiej dostępnej wiedzy geologicznej, geofizycznej i wiertniczej o obiekcie badań, dlatego model gęstościowy założono w oparciu o:

- profile litologiczno-stratygraficzne otworów wiertniczych,
- rezultaty analizy map grawimetrycznych sporządzonych dla czterech następujących po sobie przedziałów głębokości: 0÷0,5 km, 0,5÷2 km, 2÷4 km i 4÷6 km p.p.m.,



Rys. 3. Przekrój grawimetryczny na podstawie modelowania gęstościowego:  
 A – wykresy grawimetryczne, B – model gęstościowy

- rzędne jednostek geologicznych na podstawie sejsmicznych map strukturalnych,
- wyniki interpretacji geologicznej sondowań magnetotellurycznych,
- informacje o rozkładzie gęstości na podstawie danych z profilowań geofizyki wiertniczej.

Będący rezultatem modelowania gęstościowego przekrój geofizyczny (rysunek 3) poszerza wiedzę o budowie strukturalno-tektonicznej tego rejonu Karpat. Na jego podstawie można oszacować rozmieszczenie i głębokość zalegania interesujących geologów naftowych osadów dewońskich i jurajsko-kredowych, a także przebieg stref dyslokacyjnych. Modelowanie pokazało rozwarstwienie płaszczowiny śląskiej i skolskiej z uwagi na gęstości budujących je skał i określenie w oparciu o ten sam parametr granic głównych jednostek geologicznych.

Miernikiem zgodności stworzonego modelu ośrodka skalnego ze stanem faktycznym, z grawimetrycznego

punktu widzenia, jest zbieżność wykresu pomierzonych anomalii siły ciężkości z krzywą obliczoną teoretycznie od stworzonego modelu, co – jak widać na rysunku 3 w części A – osiągnięto w zadowalającym stopniu. Lecz z uwagi na zasadę wieloznaczności prawdziwym probierzem wiarygodności modelu geofizycznego jest jego jak największa zgodność z rezultatami osiągniętymi innymi metodami geofizycznymi. W rejonie Tuchowa zaproponowane rozwiązanie okazało się zbieżne z geologiczną interpretacją równolegle przeprowadzonych tam sondowań magnetotellurycznych, jak i z wcześniejszymi wynikami innych metod geofizycznych. Natomiast argumentem przesądzającym o prawdziwości przedstawionego modelu budowy geologicznej byłaby jego zgodność z rezultatami modelowania metodą projekcji palinspatycznej lub przekrojów zbilansowanych [10], co być może już w niedalekiej przyszłości stanie się standardowym sposobem weryfikacji rezultatów modelowań grawimetrycznych.

## Zdjęcie grawimetryczne okolic Stępniny odzwierciedleniem tektonicznych granic gęstości

W każdym badanym rejonie, a zwłaszcza tak zaangażowanym tektonicznie jak Karpaty, częścią interpretacji grawimetrycznej jest wyznaczanie granic rozdziału gęstości, pionowych lub stromo nachylonych. Informacje o strefach kontaktu mas o różnych gęstościach uzyskujemy m.in. analizując wartości gradientu poziomego obliczonego np. metodą Rosenbacha [3]. Osie maksimów modułu tego gradientu wskazują przebieg granic obiektów geologicznych powodujących anomalie grawimetryczne. Stosując zmiany parametrów takiej transformacji, potrafimy określić, jakim przedziałom głębokości odpowiada wyznaczona granica.

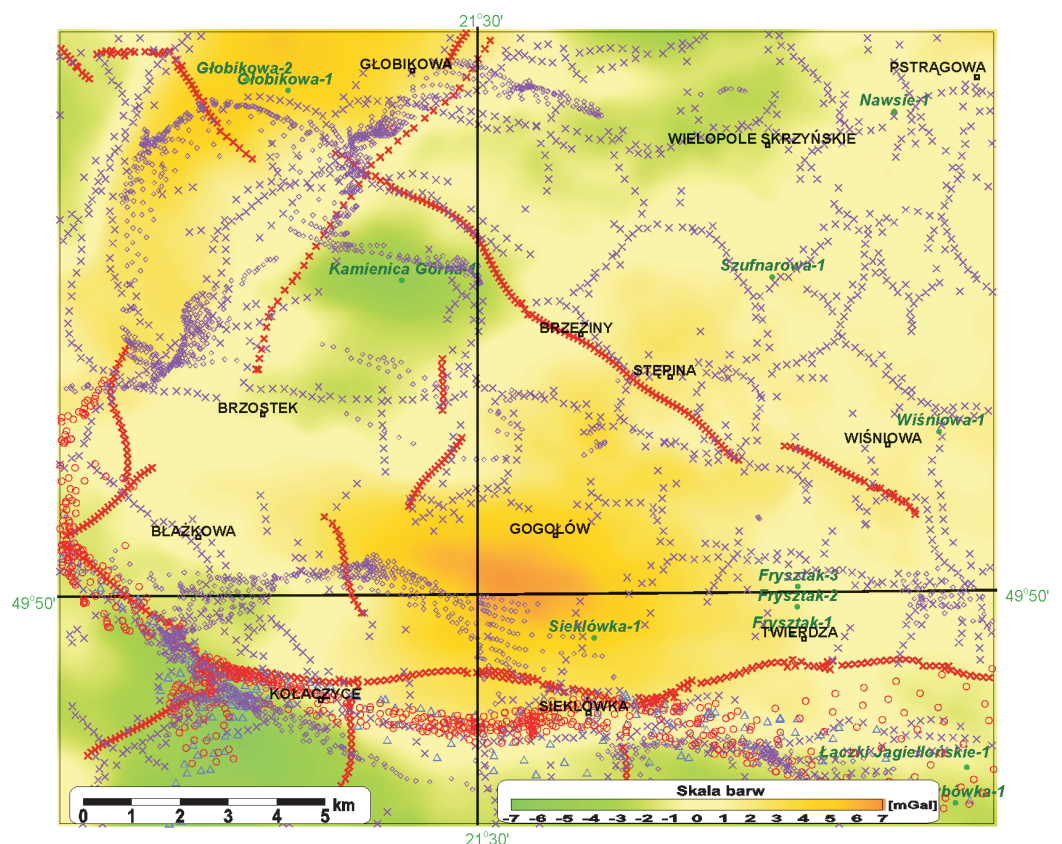
Innym ze sposobów określania stref kontrastu gęstości jest metoda znana jako trójwymiarowa dekonwolucja Eulera [4], która wykorzystuje transformację Fouriera. Umożliwia ona lokalizację pionowych granic rozdziału gęstości dla form geologicznych o założonej geometrii i pozwala określić głębokości występowania wyinterpretowanej granicy. Jednakże przedziały głębokości uzyskane na drodze takich procedur należy traktować orientacyjnie.

Wynika to z charakteru mierzonych wartości siły ciężkości, które stanowią zsumowany efekt grawitacyjny generowany przez utwory skalne poszczególnych kompleksów, i z braku możliwości jednoznacznego powiązania anomalii z głębokością ich źródła w ośrodku niejednorodnym gęstościowo, jakim są Karpaty. Wykonana dla tego obszaru interpretacja [9] dotyczyła granic (stref kontaktów) gęstości w kompleksie utworów fliszowych, osadach miocenu autochtonicznego i stropowej części ich podłoża (rysunek 4).

Rozpoznane badaniami grawimetrycznymi granice ciał zaburzających charakteryzuje zmienna długość, układ

i sposób przebiegu. Granice te śledzone są na odcinkach kilku – kilkunastu kilometrów, mogą ulec skróceniu, równoległemu przesunięciu lub zanikowi. Najdłuższe i najbardziej zwracające uwagę strefy podwyższonych wartości gradientu poziomego dla kompleksu 0÷4 km p.p.m. to:

- granica biegnąca równoleżnikowo od okolic miejscowości Twierdza na wschodzie, następnie na zachód poprzez Sieklówkę do Kołaczyc i skręcająca dalej na północny zachód; towarzyszy jej od południa granica z płytszego przedziału rozpoznania 0÷2 km; najprawdopodobniej te dwie ww. strefy podwyższonego gradientu poziomego odzwierciedlają tę samą granicę na różnych głębokościach, zapadającą na północ, o czym można wnosić na podstawie wzajemnego usytuowania stref gradientowych,
- granica zaczynająca się na peryferiach Wiśniowej i ciągnąca się przez Brzeziny na północny zachód; przypuszczalnie ma ona związek ze stromo nachyloną płaszczyzną nasunięcia wewnątrz jednostki skolskiej. Widoczne na rysunku 4 granice mają różne przebiegi.



Rys. 4. Osie maksymalnych wartości gradientu poziomego według Rosenbacha (××× – dla głębokości 0÷2 km p.p.m., ××× – dla głębokości 0÷4 km p.p.m.) oraz wyniki dekonwolucji Eulera (◇◇◇ – dla głębokości 0,5÷1,5 km p.p.m., ○○○ – dla głębokości 1,5÷2,5 km p.p.m., △△△ – dla głębokości 2,5÷4 km p.p.m.) na tle anomalii rezydualnych dla głębokości rozpoznania 0÷4 km p.p.m.

Dominuje kierunek równoleżnikowy oraz zbliżony do NW–SE i NE–SW, natomiast sporadycznie spotykany jest południkowy. Z kolei stosunkowo duże zagęszczenie granic świadczy o znacznym stopniu skomplikowania

budowy geologicznej. Wyznaczone granice są w większości odzwierciedleniem tektoniki (fałdy, uskoki, fleksury, nasunięcia), lecz nie można wykluczyć istnienia takich, które mają charakter litologiczno-gęstościowy.

### Uwagi końcowe

W artykule zaprezentowano prospekcyjne aspekty grawimetrii na podstawie wyników ostatnich badań w rejonie Karpat. Na przykładach pokazano użyteczność tej metody w kartowaniu struktur przypowierzchniowych, wykonywaniu przekrojów geofizycznych czy też rozpoznawaniu tektoniki. Prace, z których wybrano pokazane w artykule rezultaty badań, miały miejsce przy współdziałaniu innych metod geofizycznych, głównie magnetotelluryki,

co pozytywnie wpływało na trafność zaproponowanych rozwiązań. Należy zaznaczyć, że w artykule przedstawiono tylko wybrane rozwiązania stosowane w grawimetrii, której potencjał systematycznie wzrasta z uwagi na coraz doskonalszy sprzęt i stale unowocześniane programy komputerowe. Tym samym otwierają się przed nią nowe możliwości, szczególnie dotyczące interpretacji badań wykonanych w rejonach o skomplikowanej geologii.

### Literatura

- [1] Burtan J., Golonka J., Oszczytko N., Paul Z., Ślęczka A.: *Mapa geologiczna Polski. B – mapa bez utworów czwartorzędowych*. 1:200 000, Arkusz M-34-XXI Nowy Sącz, Instytut Geologiczny, Warszawa 1981.
- [2] Fajkiewicz Z.: *Grawimetria poszukiwawcza*. Warszawa, Wydawnictwa Geologiczne, 1973.
- [3] Fajkiewicz Z.: *Grawimetria stosowana*. Kraków, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, 2007.
- [4] Jamrozik J.: *Trójwymiarowa dekonwolucja Eulera jako jedna z metod interpretacji anomalii siły ciężkości*. „Przegląd Geologiczny” 1998, t. 46, nr 5.
- [5] Książkiewicz M.: *Budowa geologiczna Polski*. T. 4, Tektonika. Cz. 3, Karpaty. Warszawa, Wydawnictwa Geologiczne, 1972.
- [6] Ostrowska K., Targosz P., Stefaniuk M., Wojdyła M.: *Dokumentacja badań grawimetrycznych i magnetotellurycznych w rejonie: Tarnawa–Łąka–Czchów, 2005*. Archiwum PBG, Warszawa 2006.
- [7] Ostrowski C., Koryczan A., Ostrowska K., Piśuła M., Rzepka A.: *Przegląd dokonanych grawimetrii w ostatnim 10-leciu działalności PBG*. „Biuletyn Informacyjny Geofizyka” 2010, nr 8.
- [8] Ostrowski C., Targosz P., Stefaniuk M., Wojdyła M.: *Dokumentacja badań grawimetrycznych i magnetotellurycznych w rejonie: Garbek–Łowczów, 2006*. Archiwum PBG, Warszawa 2006.
- [9] Piśuła M., Stefaniuk M.: *Dokumentacja badań grawimetrycznych i magnetotellurycznych w rejonie: Gogołów–Strzyżów, 2005*. Archiwum PBG, Warszawa 2005.
- [10] Probulski J., Dudek L., Sowizdzał K.: *Weryfikacja przekrojów geologicznych polskiej części Karpat metodą rekonstrukcji rozwoju basenu sedymentacyjnego*. „Nafta-Gaz” 2009, nr 12.



Mgr inż. Cezary OSTROWSKI – geofizyk; absolwent Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, zatrudniony w Przedsiębiorstwie Badań Geofizycznych. Prowadzi badania geofizyczne w zakresie kartografii grawimetrycznej oraz mikrogravimetrii i ekograwimetrii. Jest współautorem kilkudziesięciu opracowań i kilkunastu publikacji z dziedziny grawimetrii stosowanej.



Mgr inż. Adam KORYCZAN, geolog, geofizyk – od przeszło trzydziestu lat związany z grawimetrią, zarówno z pracami terenowymi, jak i z ich dokumentowaniem. Absolwent Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, zatrudniony w Przedsiębiorstwie Badań Geofizycznych w Warszawie.



Mgr inż. Krystyna OSTROWSKA – ukończyła studia z zakresu geofizyki w AGH w Krakowie. Pracuje w Przedsiębiorstwie Badań Geofizycznych na stanowisku samodzielnego dokumentatora, prowadzi prace interpretacyjne – głównie transformacje i analizy pól potencjalnych. Jest współautorką wielu sprawozdań i dokumentacji z zakresu grawimetrii prospekcyjnej i mikrogravimetrii.



Mgr inż. Małgorzata PIŚUŁA – absolwentka Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie. Pracuje jako dokumentator w Przedsiębiorstwie Badań Geofizycznych w Warszawie. Współautorka licznych dokumentacji i opracowań z dziedziny kartografii grawimetrycznej i grawimetrii strukturalnej, specjalizuje się w modelowaniu gęstościowych ośrodka skalnego.



Dr inż. Jaromir PROBULSKI – absolwent AGH w Krakowie, zatrudniony w PGNiG SA w Warszawie w Oddziale Geologii i Eksploatacji. Autor wielu projektów prac geofizycznych: sejsmicznych, grawimetrycznych i magnetotellurycznych oraz projektów prac wiertniczych. Współautor projektów badawczych, m.in. profilu transkarpackiego oraz przetwarzania sejsmicznego.