

## Mapy grawimetryczne Karpat

Cezary Ostrowski<sup>1</sup>, Krystyna Ostrowska<sup>1</sup>, Małgorzata Piśuła<sup>1</sup>,  
Aleksandra Rzepka<sup>1</sup>, Paweł Targosz<sup>1</sup>



C. Ostrowski



K. Ostrowska



M. Piśuła



A. Rzepka



P. Targosz

W *Przeglądzie Geologicznym* z czerwca 2008 r. ukazała się informacja o zakończeniu realizacji przedsięwzięcia z dziedziny potrzeb geologii *pt. Atlas geofizyczny Karpat* (Lemberger i in., 2007) i o planowanej na łamach *PG* prezentacji najciekawszych map geofizycznych zamieszczonych w atlasie. W niniejszym artykule, rozpoczynającym tę prezentację, przedstawiono mapy grawimetryczne Karpat.

Prace przeprowadzone w celu sporządzenia *Atlasu geofizycznego Karpat*, w tym również z zakresu grawimetrii, wykonano na zamówienie Ministra Środowiska i sfinansowano ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Wykonawcą map geofizycznych było Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych w Warszawie spółka z o.o. (PBG) we współpracy z Państwowym Instytutem Geologicznym. Przedstawiony na mapach obszar Karpat polskich wraz z południową częścią zapadliska przedkarpackiego obejmuje powierzchnię 27,7 tys. km<sup>2</sup> (ryc. 1). Od zachodu i wschodu jest ograniczony południkami 18°30' i 23°00' długości wschodniej. Od strony północnej przylega do równoleżnika 50°10' szerokości północnej, a od południa do granicy państwa.

### Pierwsze mapy grawimetryczne Karpat

Dotychczasowe obrazy grawimetryczne Karpat pod względem zasięgu powierzchniowego były dwójakiego rodzaju. Sporządzano mapy obszarów objętych poszczególnymi tematami badawczymi lub obrazy stanowiące fragment map zbiorczych, niemal zawsze obejmujących cały obszar kraju.

Pierwsza powojenna mapa grawimetryczna Polski, fragmentarycznie obejmująca obszar Karpat, została sporządzona w skali 1 : 2 000 000 przez T. Olczaka (Olczak, 1951). Do jej opracowania wykorzystano wyniki pomiarów z lat 1937–1944, o zagęszczeniu wynoszącym 1 punkt na 20 km<sup>2</sup>. Na mapie został odwzorowany jedynie regionalny obraz zaburzeń pola grawitacyjnego.

Następne edycje mapy grawimetrycznej Polski pochodzą z drugiej połowy lat 50., z lat 60. i początkowych lat 70. XX w. (Dąbrowski, 1955; Dąbrowski i in., 1954–1960; Bro-



Ryc. 1. Zasięg powierzchniowy map grawimetrycznych w *Atlasie geofizycznym Karpat*

nowska i in., 1972). Ze względu na małe zagęszczenie stanowisk pomiarowych należy je zaliczyć do zdjęć regionalnych.

Najnowsza mapa grawimetryczna pokrywająca cały obszar kraju powstała w Państwowym Instytucie Geologicznym w ramach *Atlasu grawimetrycznego Polski* (Królikowski & Petecki, 1995). Jest to ujednolicone opracowanie danych grawimetrycznych ze zdjęć półszczygółowych w nowym, powszechnie stosowanym systemie wartości siły ciężkości IGSN-71 (*International Gravity Standardization Net 1971*) i z zastosowaniem nowej formuły na pole normalne GRS-80 (*Geodetic Reference System 1980*).

Należy również wspomnieć o mapie grawimetrycznej Karpat opracowanej pod koniec lat 90. XX w., przedstawiającej anomalie Bouguera obliczone wg zmodyfikowanej formuły, którą podał J. Švancara w 1996 r. (Pepel i in., 2001). Formuła ta nie jest powszechnie stosowana w pracach grawimetrycznych, kartograficznych czy też prospekcyjnych, zarówno w kraju, jak i w innych państwach.

<sup>1</sup>Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych w Warszawie sp. z o.o., ul. Jagiellońska 76, 03-301 Warszawa; c\_ostrowski@pbg.com.pl; k\_ostrowska@pbg.com.pl; m\_pisula@pbg.com.pl; a\_rzepka@pbg.com.pl; p\_targosz@pbg.com.pl

## Materiały źródłowe

Materiały wykorzystane do opracowania map grawimetrycznych Karpat pochodziły z dokumentacji badań wykonanych przez PBG. Szczegółowe dane o dokumentacjach są zawarte między innymi w publikacji Królikowskiego (2006).

Systematyczne badania grawimetryczne w Karpatach polskich i na ich przedgórzu zostały rozpoczęte w roku 1970 i trwały do końca lat 80. XX w. Miały one na celu uzyskanie pełnego obrazu pola siły ciężkości, wykorzystywanego głównie do rozwiązywania problemów geologiczno-poszukiwawczych. Przede wszystkim chodziło o wykrywanie i śledzenie struktur w podłożu miocenu w brzeżnej części Karpat oraz w miocenie autochtonicznym przedgórza Karpat. Były to prace półszczełowe, o zagęszczeniu 4 pkt/km<sup>2</sup> w Karpatach i w niecce górnośląskiej (Rączek, 1973, 1978, 1981, 1983; Kleszcz, 1979), 6 pkt/km<sup>2</sup> na monoklinie śląsko-krakowskiej (Okulus i in., 1979) i 3 pkt/km<sup>2</sup> na przedgórzu Karpat (Łąka & Ostrowski, 1987). Pomiary przeprowadzono grawimetrami typu: *Sharpe*, *Scintrex CG-2*, *Worden-Master* i *Sodin*.

W 2001 r. wykonano w Karpatach pomiary o wysokiej dokładności wzdłuż profili regionalnych o łącznej długości 293 km, celem dodatkowego rozpoznania orogenu karpacciego oraz struktur podłoża mezopaleozoicznego i krystalicznego (Ostrowski i in., 2001).

W ostatnich latach wzrosło zainteresowanie badaniami grawimetrycznymi w Karpatach i na ich przedpolu. Prace te są związane z poszukiwaniami naftowymi i wykonuje się je najczęściej kompleksowo, łącznie z badaniami geoelektrycznymi metodą magnetotelluryczną. Ostatnie zdjęcia grawimetryczne miały na celu uszczegółowienie rozpoznania orogenu karpacciego i kompleksów podścielających. Zrealizowano je m.in. w rejonach: Raciechowice–Stadniki (Ostrowski i in., 2002); Puszcz–Krzeczów–Borek (Ostrowski, 2003); Gogołów–Strzyżów (Pisula & Stefaniuk, 2005); Tarnawa–Łąka–Czchów (Ostrowska i in., 2006); Garbek–Łowczów (Ostrowski i in., 2007); Skopów–Leszczyny (Ostrowski i in., 2007).

## Reinterpretacja danych źródłowych

Anomalie siły ciężkości w redukcji Bouguera obliczono (Fajkiewicz, 2007; Torge, 1989) na podstawie archiwalnych danych ze wspomnianych prac grawimetrycznych. Obliczenia wykonano dla 129 900 punktów pomiarowych położonych na obszarze przedstawionym na mapach, a także dla punktów zlokalizowanych w najbliższym otoczeniu. W pracach processingowych przyjęto:

- przyspieszenie siły ciężkości w systemie międzynarodowym IGSN-71;
- wysokość dla poziomu odniesienia Kronsztad;
- współrzędne geograficzne na podstawie źródłowych danych archiwalnych;
- współrzędne prostokątne przetransformowane do układu 1942;
- pole normalne na podstawie formuły GRS-80 w odniesieniu do powierzchni elipsoidy;
- poprawkę topograficzną siły ciężkości w strefie do 166,7 km wokół punktów pomiarowych;
- gęstość objętościową stałą  $2,67 \times 10^3 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$  jako średnią dla karpaccich utworów warstwy zredukowanej (Królikowski i in., 1999), stosowaną w interpre-

tacjach grawimetrycznych (regionalnych i półszczełowych).

Należy odnieść się do problemu stałej gęstości objętościowej stosowanej w redukcji pomierzonych wartości siły ciężkości (w ramach tzw. redukcji P. Bouguera). Przyjmowana obecnie dla obszaru Karpat, w Polsce i poza terytorium naszego kraju, gęstość wynosząca  $2,67 \times 10^3 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$  została ustalona na międzynarodowym spotkaniu geofizyków, specjalistów w zakresie grawimetrii z Czech, Polski, Słowacji i Ukrainy (Królikowski i in., 1999). Podana gęstość jest większa od średniej określonej na podstawie danych z otworów wiertniczych. Tę ostatnią obliczono wykorzystując informacje z małej liczby otworów rozmieszczonych nierównomiernie i skupionych głównie przy granicy nasunięcia karpacciego. W związku z tym rozkład gęstości przyjęty dla obszaru polskich Karpat nie wszędzie jest jednakowo dokładny i będzie ulegał korektom w efekcie pozyskiwania nowych danych. Podobne problemy mają geofizycy interpretatorzy z innych krajów obejmujących Karpaty. W tej sytuacji cenna okazała się decyzja geofizyków z państw Europy Środkowej zalecająca stosowanie jednakowej gęstości skał w warstwie zredukowanej na obszarze całych Karpat, co zapewnia spójność wyników badań w strefach przygranicznych.

Rozkład powierzchniowy anomalii Bouguera, będący podstawową mapą grawimetryczną, stanowi punkt wyjścia do wszystkich analiz i interpretacji. W ramach przeprowadzonej interpretacji anomalie Bouguera zostały poddane transformacjom ukierunkowanym na rozpoznanie fliszu, miocenu oraz podłoża mezozoiczno-paleozoicznego i prekambryjskiego. Transformacje wykonano metodą filtracji częstotliwościowej z zastosowaniem filtrów BTWR (*Butterworth Filter*) i przyjmując właściwą długość fali (częstotliwość), traktowaną jako parametr filtracji. W wyniku transformacji otrzymano anomalie rezydualne i regionalne siły ciężkości, odzwierciedlające grawitacyjne oddziaływanie mas skalnych zalegających w przyjętych interwałach głębokości (anomalie rezydualne), a także w ich podłożu (anomalie regionalne). Uzyskane na tej drodze obrazy grawimetryczne pochodzą z przybliżeniu od utworów występujących pomiędzy powierzchnią odniesienia (0 m n.p.m.) i głębokością 6 km p.p.m. oraz w przedziale głębokości 6–15 km p.p.m. (w obu przypadkach są to anomalie rezydualne), jak również od kompleksów położonych poniżej głębokości 15 km p.p.m. (anomalie regionalne).

Zależność pomiędzy przedziałami głębokości, z których pochodzi efekt grawitacyjny (anomalie rezydualne i regionalne), a parametrami transformacji anomalii pomierzonych (w redukcji Bouguera) ustalono na podstawie wyników prac studialnych. Polegały one na obliczeniach efektu grawitacyjnego na podstawie modeli gęstościowych dla różnych wariantów budowy strukturalnej. Otrzymane z obliczeń (teoretyczne) rozkłady anomalii po porównaniu z wynikami filtracji częstotliwościowej umożliwiły ustalenie optymalnych dla danego regionu parametrów transformacji anomalii Bouguera.

Do opracowania map anomalii grawimetrycznych użyto specjalistycznego oprogramowania *OASIS\_montaj* firmy *Geosoft Inc*. Należy jednak pamiętać, iż podane na mapach grawimetrycznych przedziały głębokości, dla których wydzielono efekt grawitacyjny, trzeba traktować orientacyjnie (szacunkowo). Wynika to z superpozycji mierzonych wartości pochodzących od utworów zalegających na różnych głębokościach i z braku możliwości jednoznacznego powiązania anomalii grawimetrycznych



z głębokościami ich źródeł, zwłaszcza w ośrodku skomplikowanym gęstościowo, z jakim mamy do czynienia w Karpatach.

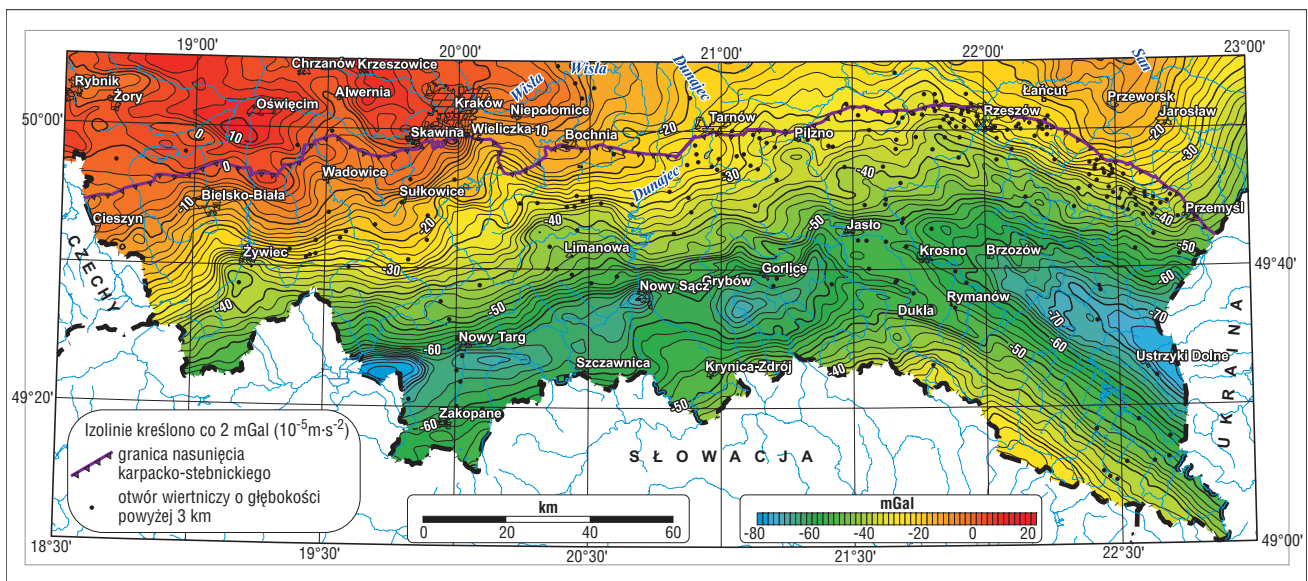
### Ogólne cechy obrazu grawimetrycznego

Wartości anomalii Bouguera (ryc. 2) zmieniają się od 10 mGal w części północno-zachodniej, w pobliżu Oświęcimia i Krzeszowic, do  $-78$  mGal na zachód od Nowego Targu, w pobliżu granicy państwa ze Słowacją. Spadek wartości na całym obszarze jest nieregularny. Skomplikowany obraz anomalii Bouguera świadczy o dużej zmienności gęstości objętościowej utworów, wynikającej z budowy litologicznej i strukturalnej. W rozkładzie anomalii na uwagę zasługują kilka form o znaczących zasięgach powierzchniowych i wyraźnych amplitudach.

Na północny zachód od linii wyznaczonej przez miejscowości Cieszyn, Bielsko-Biała, Wadowice, Wieliczka i

noleżnikowo na odcinku około 50 km po południowej stronie linii Grybów–Gorlice aż do rzeki Wisłoki. Na wschód od linii Jasło–Dukla opisywane pasmo anomalii ujemnych rozszerza się do około 60 km, zmienia kierunek na NW-SE i biegnie od Krosna przez Brzozów do Ustrzyk Dolnych. Na wschód od tej miejscowości anomalie Bouguera osiągają wartość  $-76$  mGal. Omawiana forma kontynuuje się dalej na Ukrainie.

W obrazie anomalii Bouguera (ryc. 2) są widoczne liczne pasmowe strefy zagęszczenia izolinii, czyli podwyższonych wartości gradientu poziomego anomalii. Większość stref ciągnie się na odcinku kilku, kilkunastu, a nawet ponad dwudziestu kilometrów. Odzwierciedlają one przebiegi granic gęstościowych, stromo nachylonych lub pionowych, o założeniach głównie tektonicznych (granice uskoku, fałdowe, fleksuralne), a tym samym wyznaczają zasięgi powierzchniowe poszczególnych elementów strukturalnych. Mniejsze wartości gradientu poziomego



Ryc. 2. Anomalie siły ciężkości w redukcji Bouguera — podstawowa mapa grawimetryczna

Niepołomice zarejestrowano najwyższe wartości anomalii Bouguera. Wyróżnić tu można dwie strefy anomalne. Pierwsza z nich, wydłużona, o amplitudzie 10 mGal jest widoczna w rejonie Oświęcimia. Oś jej przebiega w przybliżeniu równoleżnikowo od Żor przez Oświęcim do okolic Alwerni. Druga strefa o podobnej amplitudzie rozciąga się na zachód od Krakowa i kontynuuje w kierunku północno-zachodnim poza analizowany obszar. Oś jej przebiega od Skawiny do Krzeszowic. Anomalie te rozdziela wydłużony pas obniżonych wartości pola siły ciężkości, przebiegający od Sułkowic do Chrzanowa. Rejon obniżonych wartości o kierunku równoleżnikowym zarejestrowano również na wschód od Rybnika.

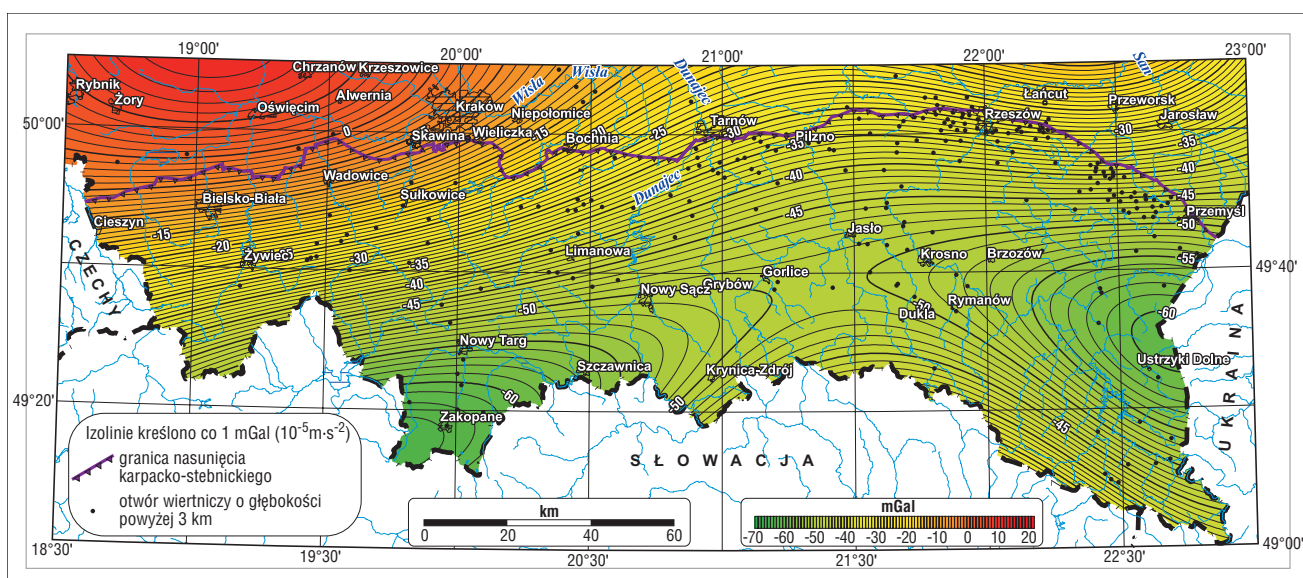
Na północnym wschodzie, pomiędzy Łańcutem i Jarosławiem (południowa część przedgórzia Karpat), zarysowała się względnie dodatnia anomalia Bouguera, kontynuująca się w kierunku północnym.

W południowej części analizowanego obszaru Karpat polskich zarejestrowano najniższe w kraju wartości pola siły ciężkości. Wartości ujemne ciągną się pasem o szerokości około 30 km z rejonu położonego na zachód od Nowego Targu, przy granicy państwa (tutaj anomalia Bouguera ma wartość  $-78$  mGal) do Nowego Sącza, a następnie rów-

mogą być związane z niewielkimi formami tektonicznymi lub granicami litologiczno-gęstościowymi (stromo nachylonymi).

W obrębie zdjęcia grawimetrycznego Karpat zarejestrowano dużo anomalii o zasięgu lokalnym i nieregularnych kształtach. Mają one różne kierunki przebiegu osi, zróżnicowane amplitudy i są okonturowane strefami gradientu poziomego o niejednakowych wartościach. Anomalie te wskazują na obecność struktur geologicznych ze skał o różnej gęstości. Z analizy obrazu pola siły ciężkości i analizy gęstości poszczególnych kompleksów litologicznych wynika, że anomalie względnie ujemne są wywołane m.in. przez kompleksy miocenu (gęstość  $2,20 \text{ g} \times \text{cm}^{-3}$ ), warstwy istebniańskie, pstry łupki i warstwy menilitowe ( $2,50 \text{ g} \times \text{cm}^{-3}$ ) oraz warstwy czarnorzeckie i piaskowce ciężkowickie ( $2,45 \text{ g} \times \text{cm}^{-3}$ ). Natomiast względnie dodatnie anomalie grawimetryczne mogą być związane z obecnością warstw krośnieńskich ( $2,60 \text{ g} \times \text{cm}^{-3}$ ), a w podłożu podtrzęcionym z występowaniem utworów dolnej kredy ( $2,60 \text{ g} \times \text{cm}^{-3}$ ) lub ciężkich osadów dewonu ( $2,70 \text{ g} \times \text{cm}^{-3}$ ).

Zaburzenia rozkładu anomalii Bouguera występują na tle silnego pola regionalnego pochodzącego od głębszego podłoża, co powoduje, że formy anomalne o mniejszych



Ryc. 3. Anomalie regionalne siły ciężkości wywołane masami skalnymi występującymi na orientacyjnej głębokości poniżej 15 km p.p.m.

amplitudach i lokalnym zasięgu, odwzorowujące elementy strukturalne lub litologiczne niższego rzędu, są mniej czytelne. W celu wyodrębnienia i uwypuklenia efektów grawitacyjnych wywodzących się od tych jednostek sporządzono mapy anomalii rezydualnych siły ciężkości, a dla zobrazowania wpływu podłoża opracowano rozkłady składowej regionalnej pomierzonego pola. Jak już wcześniej wspomniano parametry transformacji zostały dobrane tak, aby możliwe było wydzielenie ciał zaburzających na różnych głębokościach.

Analiza rozkładu anomalii regionalnych (ryc. 3), generowanych przez utwory geologiczne występujące na orientacyjnej głębokości poniżej 15 km p.p.m., dostarczyła informacji o strukturalnej budowie podłoża. W obrazie anomalii regionalnych wyraźnie zaznacza się karpacki niż grawimetryczny. Oś jego biegnie z południowego zachodu, przechodzi przez Zakopane, pomiędzy Nowym Sączem i Krynica-Zdrojem oraz między Krosnem i Rymanowem, gdzie zmienia kierunek na południowo-wschodni, biegnie w pobliżu Ustrzyk Dolnych i dalej kontynuuje się na Ukrainie.

Na mapie anomalii regionalnych w części północno-zachodniej dominuje rozległa dodatnia forma grawimetryczna z centrum na północ od Żor i Oświęcimia, kontynuująca się w kierunku północnym poza obszar mapy. Druga anomalia dodatnia, o mniejszym zasięgu powierzchniowym i dużo mniejszej amplitudzie, została zarejestrowana w okolicy Przeworska i podobnie jak poprzednia rozprzestrzenia się poza rejon objęty opracowaniem.

Równomierny spadek wartości anomalii regionalnych z północnego zachodu na południowy wschód, a w części wschodniej obszaru z północy do osi niżu grawimetrycznego świadczy o zapadaniu podłoża w tym kierunku. Po stronie południowej niżu wartości pola regionalnego wzrastają, co wskazuje na stopniowe wynurzanie się podłoża w tym rejonie.

#### Rozkład anomalii rezydualnych siły ciężkości

Obraz anomalii rezydualnych pochodzących od mas skalnych zalegających na szacunkowej głębokości od 0 do

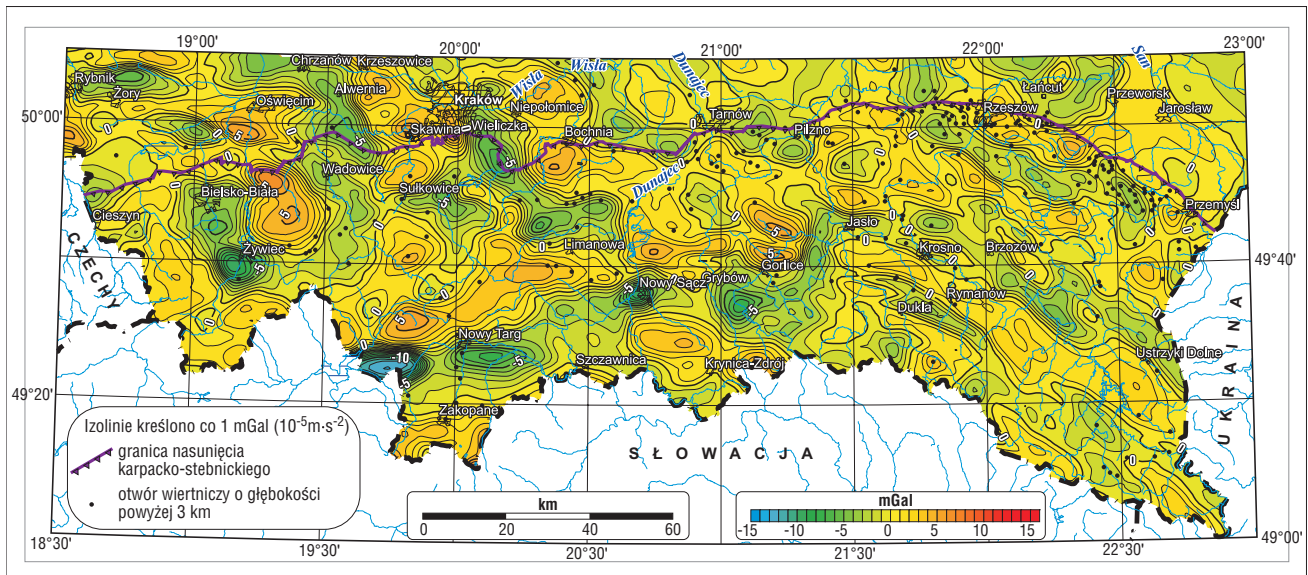
6 km p.p.m. (ryc. 4) jest bardzo zróżnicowany, m.in. pod względem rozciągłości osi anomalii i ich amplitud. Wydzielić można tutaj dwa rejonu różniące się typem pola grawitacyjnego.

Pierwszy rejon jest położony na wschód od linii przebiegającej południkowo z północy do Pilzna, a dalej pomiędzy Gorlicami oraz Jasłem i ku południowej granicy państwa. Na obszarze tym zarejestrowano wiele naprzemiennych dodatnich i ujemnych, wydłużonych stref anomalnych, rozciągających się na odcinkach od kilkunastu do kilkudziesięciu kilometrów. Amplitudy anomalii osiągają 4 mGal, a osie anomalii mają kierunek NW-SE.

W drugim rejonie, położonym na zachód od południka przechodzącego przez Pilzna, obraz anomalii rezydualnych przedstawia liczne dodatnie formy grawimetryczne, rozdzielone anomaliami ujemnymi. Osie anomalii w większości przebiegają z NNW ku SSE na odcinkach o długości nawet ponad 20 km. Amplitudy lokalnych anomalii (zaburzeń) osiągają wartości powyżej 5 mGal. Anomalie są ograniczone strefami podwyższonego gradientu poziomego siły ciężkości, które wyznaczają zasięgi poziome źródeł anomalii. W obrębie dodatnich i ujemnych pasm anomalii zostały wyodrębnione lokalne, mniejsze powierzchniowo formy o ekstremalnych wartościach, których osie mają kierunek WNW-ESE, a niejednokrotnie równoleżnikowy. Część północna opisywanego obrazu pola siły ciężkości odpowiada rejonowi stosunkowo płytkiego (2–3 km p.p.m.) zalegania podłoża podfliszowego, a większość lokalnych anomalii grawimetrycznych odzwierciedla struktury podtrzeciorzędowe.

Wyraźnym elementem zdjęcia grawimetrycznego na południe od linii Żywiec–Limanova i dalej w stronę Jasła są ciągi naprzemiennych (dodatnich i ujemnych) anomalii o przebiegu zbliżonym do równoleżnikowego. Najintensywniejsza z nich, wydłużona anomalia ujemna o ekstremalnych wartościach od –5 mGal do poniżej –10 mGal i szerokości 15 km, rozciąga się od granicy ze Słowacją przez Nowy Targ do Szczawnicy. Dalej, od Nowego Sącza przez Grybów, kontynuuje się ona na odcinku około 50 km, po czym zmienia kierunek na SW-NE. Z anomalią tą od południa i północy sąsiadują wydłużone, dodatnie formy





Ryc. 4. Anomalie rezydualne siły ciężkości wywołane utworami zalegającymi na orientacyjnej głębokości od 0 km do 6 km p.p.m.

grawimetryczne o amplitudach nie przekraczających 4–5 mGal i o znacznej szerokości.

W *Atlasie geofizycznym Karpat* zamieszczono również inne mapy grawimetryczne, nie prezentowane w tym artykule, m.in. uściślające rozpoznanie budowy ośrodka skalnego w przedziale od 0 do 6 km p.p.m. Są to rozkłady anomalii rezydualnych odzwierciedlających budowę górotworu w interwałach głębokości od 0 do 3 km i od 3 do 6 km p.p.m. Na mapie anomalii pochodzących od utworów w wyżej położonym przedziale głębokości (0–3 km p.p.m.) formy grawimetryczne charakteryzują się mniejszym zasięgiem powierzchniowym i mniejszymi amplitudami. Kierunki osi pozostają nie zmienione w stosunku do obrazu poprzednio opisanego. Rozkład anomalii rezydualnych w przedziale od 0 do 3 km wykazuje ścisły związek form grawimetrycznych ze zróżnicowanymi gęstościowo utworami płaszczowin karpaccich. Lokalne, często pasmowe anomalie ujemne odpowiadają fałdom, w jądrach których zalegają lekkie utwory fliszowe, np. kredy. Natomiast lokalne anomalie dodatnie, w tym również tworzące wydłużone strefy, są wywołane przez kompleksy cięższych utworów, m.in. warstw krośnieńskich.

Kolejną mapą zamieszczoną w atlasie, a nie przedstawioną w artykule, jest rozkład anomalii rezydualnych siły ciężkości pochodzących od utworów na głębokości 3–6 km p.p.m. Obraz ten jest mniej zróżnicowany od poprzednio sygnalizowanego. Uwidaczniają się w nim główne ciągi anomalne dominujące na mapie anomalii wywołanych utworami na głębokości 0–6 km p.p.m. Kierunki osi anomalii dodatnich i ujemnych pozostały niezmienione. Najbardziej zarysowała się ujemna anomalia o przebiegu równoleżnikowym w południowej części Karpat, pomiędzy Nowym Targiem, Nowym Sączem i Gorlicami. Wartości jej przekraczają –8 mGal na zachód od Nowego Targu i –5 mGal na południe od Gorlic. Oprócz wymienionej anomalii wyraźnie zaznaczyły się inne formy rezydualne, zwłaszcza w obszarze położonym pomiędzy Bochnią, Limanową, Żywcem i Oświęcimiami. Są to naprzemianległe formy dodatnie i ujemne, o amplitudach około 5 mGal i różnym przebiegu osi. W większości jest to kierunek NNW-SSE. Na wschód od linii Pilzno–Gorlice obraz anomalii rezydu-

alnych w przedziale głębokości 3–6 km p.p.m. jest odmienny. Anomalie dodatnie i ujemne charakteryzują się dużo mniejszymi amplitudami (do 3 mGal), a osie ich mają kierunek NW-SE, czyli zgodny z rozciągłością jednostek karpaccich. Anomalie te odzwierciedlają przede wszystkim strukturę dolnych partii orogenu karpacciego, co potwierdzają wiercenia.

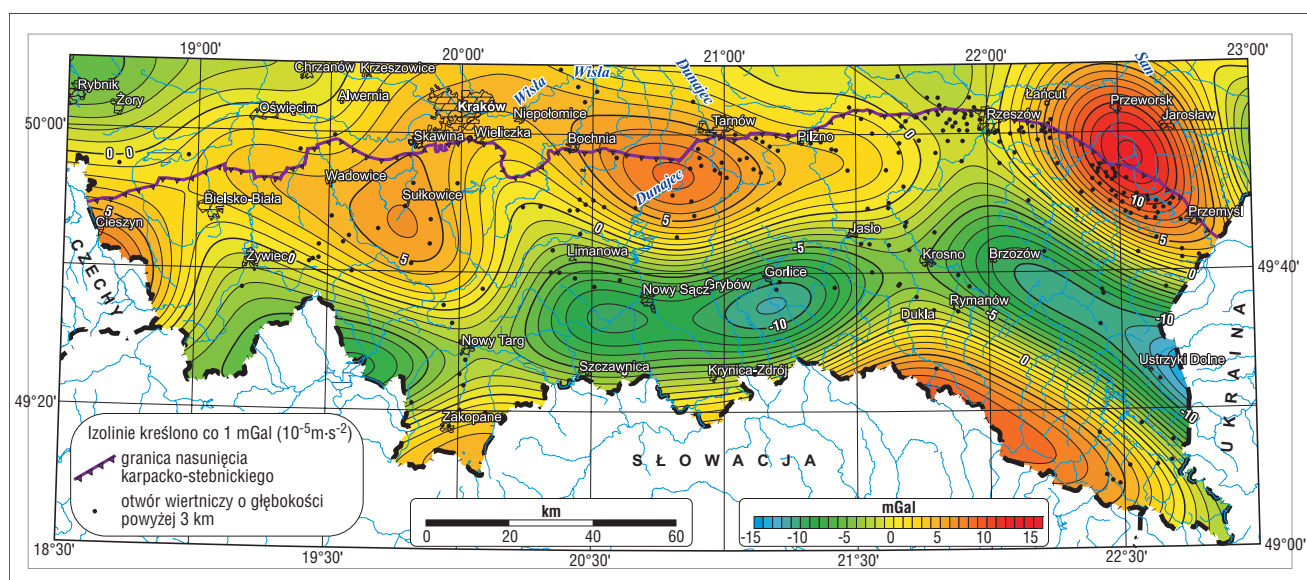
Mapy grawimetryczne anomalii rezydualnych wywołanych przez utwory zalegające w orientacyjnych przedziałach 0–3 km i 3–6 km p.p.m. zamieszczono wraz z objaśnieniami w opracowaniu końcowym (Lemberger i in., 2007), złożonym w CAG PIG.

W obrazie grawimetrycznym kompleksu skalnego zalegającego na szacowanej głębokości od 6 do 15 km p.p.m. (ryc. 5), w centralnej części obszaru Karpat udokumentowano silną depresję grawimetryczną. Oś jej przebiega przez Nowy Targ, Gorlice, Brzozów i Ustrzyki Dolne, a wartości przekraczają –13 mGal. Od północy towarzyszy jej ciąg wielkopromiennych anomalii dodatnich o amplitudach zmieniających się od 6 do 14 mGal. Ekstremalne wartości anomalii dodatnich zarejestrowano w pobliżu Sułkowic oraz na południowy zachód od Tarnowa i na południe od Przeworska. W południowo-wschodniej części obszaru fragmentarycznie zarysowała się rozległa dodatnia forma anomalna, której oś ma kierunek NW-SE, a amplituda przekracza 9 mGal. Kontynuuje się ona na obszarze Karpat słowackich. Źródło jej tkwi zapewne na głębokości poniżej 10 km.

#### Uwagi końcowe

W *Atlasie geofizycznym Karpat* zamieszczono różne obrazy grawimetryczne Karpat polskich, spośród których w niniejszym artykule zaprezentowano dwie mapy anomalii rezydualnych. Są to:

- rozkład anomalii rezydualnych związanych z kompleksami skalnymi na głębokości do 6 km p.p.m. (ryc. 4), który odzwierciedla budowę orogenu karpacciego i miocenu autochtonicznego, w rejonach, gdzie występuje on do przyjętej głębokości, a także podłoża podtrzciorzędowego w północnej części Karpat i w południowym pasie zapadliska przedkarpacciego;



Ryc. 5. Anomalie rezydualne siły ciężkości wywołane utworami zalegającymi na orientacyjnej głębokości od 6 km do 15 km p.p.m.

□ rozkład anomalii rezydualnych pochodzących od mas skalnych w przedziale 6–15 km p.p.m. (ryc. 5), który pokazuje grawitacyjne oddziaływanie utworów podłoża podmioceńskiego w części północnej zdjęcia, a w części południowej również dolną partię orogenu karpackiego i podścielającego miocenu autochtonicznego (jeśli on występuje).

Mapy grawimetryczne odwzorowują zasięgi występowania utworów różniących się gęstością objętościową, wskazują kierunki zmian tego parametru i dokumentują granice gęstościowe (litologiczne, tektoniczne) pomiędzy sąsiadującymi ze sobą utworami. Analiza rozkładów anomalii rezydualnych pozwala zlokalizować źródła zaburzeń pola grawitacyjnego mające ścisły związek z przestrzennym rozmieszczeniem mas skalnych.

Rola opracowań grawimetrycznych w całym zestawie metod geofizycznych jest znacząca przede wszystkim w zakresie rozpoznania powierzchniowego, ukierunkowanego dalsze badania innymi metodami. W zmienionym wariancie metodycznym grawimetria ma zastosowanie m.in. w pracach kompleksowych, detalizujących lub weryfikujących modele budowy ośrodka skalnego.

Autorzy dziękują recenzentowi, Panu dr. Zdzisławowi Peteciemu, za życzliwe uwagi i sugestie wykorzystane w artykule.

### Literatura

BRONOWSKA E., BUJNOWSKI W. & GROBELNY A. 1972 — Mapa grawimetryczna Polski, Anomalie Bouguera, 1 : 500 000. Inst. Geol.  
 DĄBROWSKI A. (red.), KACZKOWSKA Z., MARYNIAK K., ORLIKOWSKI J. & PAWŁOWSKI S. 1954–1960 — Mapa grawimetryczna Polski, skala 1 : 300 000. CAG Państw. Inst. Geol.  
 DĄBROWSKI A. 1955 — Mapa grawimetryczna Polski, 1 : 1 000 000. [W:] Atlas geologiczny Polski, tabl. 10. Inst. Geol.  
 FAJKLEWICZ Z. 2007 — Grawimetria stosowana. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.  
 KLESZCZ T. 1979 — Dokumentacja badań grawimetrycznych, temat: Rzeszów–Przemyśl, 1978–1979. Arch. PBG, Warszawa.  
 KRÓLIKOWSKI C. & PETECKI Z. 1995 — Atlas grawimetryczny Polski. Państw. Inst. Geol.  
 KRÓLIKOWSKI C., JAMROZIK J., PEPEL A., SZCZYPA S., SZALAIÓVÁ V. & SEDLÁK J. 1999 — Ustalenia w sprawie nowej formuły obliczania anomalii Bouguera dla Karpat. Arch. PBG, Warszawa.  
 KRÓLIKOWSKI C. 2006 — Zdjęcie grawimetryczne Polski — jego wartość i znaczenie dla nauk o Ziemi. Biul. Państw. Inst. Geol., 420: 1–104.

LEMBERGER M., OSTROWSKI C., KRÓLIKOWSKI C., STEFANIUK M., KOSOBUDZKA I., PETECKI Z. & WRÓBLEWSKA M. 2007 — Dokumentacja przedsięwzięcia z dziedziny potrzeb geologii pt. Atlas geofizyczny Karpat. CAG Państw. Inst. Geol.

ŁĄKA M. & OSTROWSKI C. 1987 — Dokumentacja półszcze-gółowych badań grawimetrycznych, temat: Przedgórze Karpat, 1982–1986. Arch. PBG, Warszawa.

OKULUS H., CIEŚLA E. & KOSOBUDZKA I. 1979 — Dokumentacja badań grawimetryczno-magnetycznych, temat: Lubliniec–Kraków, 1975–1978. Arch. PBG, Warszawa.

OLCZAK T. 1951 — Mapa grawimetryczna Polski, skala 1 : 2 000 000. Biul. Państw. Inst. Geol., 64: 1–59.

OSTROWSKI K., TARGOSZ P., STEFANIUK M. & WOJDYŁA M. 2006 — Dokumentacja badań grawimetrycznych i magnetotellurycznych w rejonie Tarnawa–Łąka–Czchów, 2005. Arch. PBG, Warszawa.

OSTROWSKI C., OSTROWSKA K. & PIŚUŁA M. 2001 — Dokumentacja szczegółowych pomiarów grawimetrycznych na profilach magnetotellurycznych regionalnych — międzynarodowych w Karpatach (I etap prac), 2001. Arch. PBG, Warszawa.

OSTROWSKI C., OSTROWSKA K. & PIŚUŁA M. 2002 — Dokumentacja badań grawimetrycznych w rejonie Raciechowice–Stadniki, 2002. Arch. PBG, Warszawa.

OSTROWSKI C. 2003 — Dokumentacja profilowych badań grawimetrycznych, temat: Puszcza–Krzeczków–Borek, 2003. Arch. PBG, Warszawa.

OSTROWSKI C., TARGOSZ P., STEFANIUK M. & WOJDYŁA M. 2006 — Dokumentacja badań grawimetrycznych i magnetotellurycznych w rejonie Garbek–Łowczów, 2006. Arch. PBG, Warszawa.

OSTROWSKI C., TARGOSZ P., STEFANIUK M. & WOJDYŁA M. 2007 — Dokumentacja badań grawimetrycznych i magnetotellurycznych w rejonie Białowa–Dynów, część wschodnia: Skopów–Leszczy-ny, 2006. Arch. PBG, Warszawa.

PEPEL A., SEDLÁK J., SZALAIÓVÁ V. & SZCZYPA S. 2001 — New gravity map of Carpathians. Slovak Geol. Mag., 7: 177–182.

PIŚUŁA M. & STEFANIUK M. 2005 — Dokumentacja badań grawimetrycznych i magnetotellurycznych w rejonie Gogołów–Strzyżów, 2005. Arch. PBG, Warszawa.

RECZEK J. 1973 — Dokumentacja półszcze-gółowych badań grawimetrycznych, temat: Górnośląskie Zagłębie Węglowe, 1970–1972. Arch. PBG, Warszawa.

RECZEK J. 1978 — Dokumentacja półszcze-gółowych badań grawimetrycznych, temat: Karpaty Zachodnie, 1972–1977. Arch. PBG, Warszawa.

RECZEK J. 1981 — Dokumentacja półszcze-gółowych badań grawimetrycznych, temat: Wschodnia część Karpat fliszowych — Bieszczady, 1975–1980. Arch. PBG, Warszawa.

RECZEK J. 1983 — Dokumentacja półszcze-gółowych badań grawimetrycznych, temat: Środkowa część Karpat, 1975–1982. Arch. PBG, Warszawa.

TORGE W. 1989 — Gravimetry. Wyd. Walter de Gruyter, Berlin–New York.

Praca wpłynęła do redakcji 30.09.2008 r.

Po recenzji akceptowano do druku 13.11.2008 r.