BIULETYN PAŃSTWOWEGO INSTYTUTU GEOLOGICZNEGO 459: 157–166, 2014 R.

MODEL STREFY USKOKOWEJ KRAKÓW–LUBLINIEC W ŚWIETLE WYNIKÓW ANALIZY PÓL POTENCJALNYCH

A MODEL OF THE KRAKÓW–LUBLINIEC FAULT ZONE IN THE LIGHT OF POTENTIAL FIELD ANALYSIS RESULTS

OLGA ROSOWIECKA[1]

Abstrakt. W celu uzupełnienia badań geologicznych przeprowadzonych na rdzeniach otworów wiertniczych Cianowice 2 i Trojanowice 2 o informację geofizyczną w rejonie badań wykonano analizę wyników powierzchniowych pomiarów geofizycznych pól potencjalnych . Usunięcie tła regionalnego z obrazu anomalii Bouguera poprzez odpowiednie transformacje pozwoliło uwypuklić lokalne struktury. Na grupie próbek reprezentatywnych dla poszczególnych jednostek litologicznych i stratygraficznych wykonano pomiary gęstości rzeczywistej i objętościowej oraz porowatości całkowitej, a także podatności magnetycznej i natężenia naturalnej pozostałości magnetycznej (IRNM). Parametry te zestawiono z wynikami wcześniejszych badań petrofizycznych w rejonie bloków małopolskiego i górnośląskiego. Informacje te wykorzystano w następnym etapie prac, jakim było przeprowadzenie dwuwymiarowego modelowania gęstościowego wzdłuż profilu łączącego otwory Cianowice 1 i 2 oraz Trojanowice 1 i 2. Na podstawie modelowania stwierdzono konieczność wprowadzenia drobnych zmian w strukturze geologicznej zaproponowanej przez Habryna (Habryn i in., 2007a, b) bez naruszania ogólnych założeń interpretacyjnych. Modelu magnetycznego nie wykonano ze względu na brak danych w południowej części profilu (obszar aglomeracji Krakowa).

Słowa kluczowe: grawimetria, magnetometria, gęstość, porowatość, podatność magnetyczna, model gęstościowy.

Abstract. Analysis of the results of potential field surveys were carried out in order to supplement geological research focused on cores from the Cianowice 2 and Trojanowice 2 boreholes. Regional background of Bouguer anomaly was removed with the use of adequate transformations to underline local structures. Total and bulk density, total porosity and magnetic susceptibility as well as intensity of natural remnant magnetization (INRM) were measured on a representative set of samples taken from distinct lithological and stratigraphic units. Those parameters are related to previous results of petrophysical studies of the Malopolska and Upper Silesian blocks. The next stage of research was two-dimensional gravity modeling along the profile crossing four wells: Cianowice 1 and 2, and Trojanowice 1 and 2. The model suggests that some small changes in the interpretation of the geological structure (Habryn *et al.*, 2007a, b) should be made, but the general interpretation guidelines remain stay the same. It has been impossible to develop a magnetic model since there is lack of data in the south part of the profile (Kraków agglomeration area).

Key words: gravimetry, magnetometry, density, porosity, magnetic susceptibility, density model.

WSTĘP

Mimo bogatego materiału pomiarowego przestrzenne rozpoznanie pod względem właściwości magnetycznych i gęstości skał regionu śląsko-krakowskiego nadal nie jest dostateczne. Znajomość takich parametrów odgrywa istotną rolę w interpretacji wyników badań pól grawitacyjnego i magnetycznego Ziemi. Słabe rozpoznanie jest głównie efektem skoncentrowania prac badawczych w kilku niewielkich rejonach, w których stwierdzono lub spodziewano się odnalezienia mineralizacji polimetalicznej. Wykonane dotychczas badania wskazują na silne zróżnicowanie cech magnetycznych i gęstości zarówno w przekroju poziomym, jak i pionowym. Dotyczy ono nie tylko różnych rodzajów skał – dużą zmien-

[1] Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; e-mail: olga.rosowiecka@pgi.gov.pl

ność parametrów notuje się również w obrębie jednolitej budowie litologicznej.

Dobrą okazją do uzupełnienia wiedzy na temat struktury gęstościowej regionu była realizacja zadania „Geologiczno-strukturalne rozpoznanie strefy rozłamu Kraków–Lubliniec na odcinku krakowskim" (Habryn i in., 2007a, b), części składowej „Zintegrowanego programu płytkich wierceń badawczych dla rozwiązania istotnych problemów budowy geologicznej Polski" zrealizowanego w PIG-PIB w latach 2005–2011. W ramach zadania wykonano pomiary gęstości, porowatości i podatności magnetycznej na próbkach rdzeni obu nowo odwierconych otworów (tj. Trojanowice 2 i Cianowice 2). Dzięki ich przeprowadzeniu przedstawiony w artykule dwuwymiarowy model jest wykonany na podstawie danych rzeczywistych, a nie obliczonych statystycznie, na podstawie różnego rodzaju relacji.

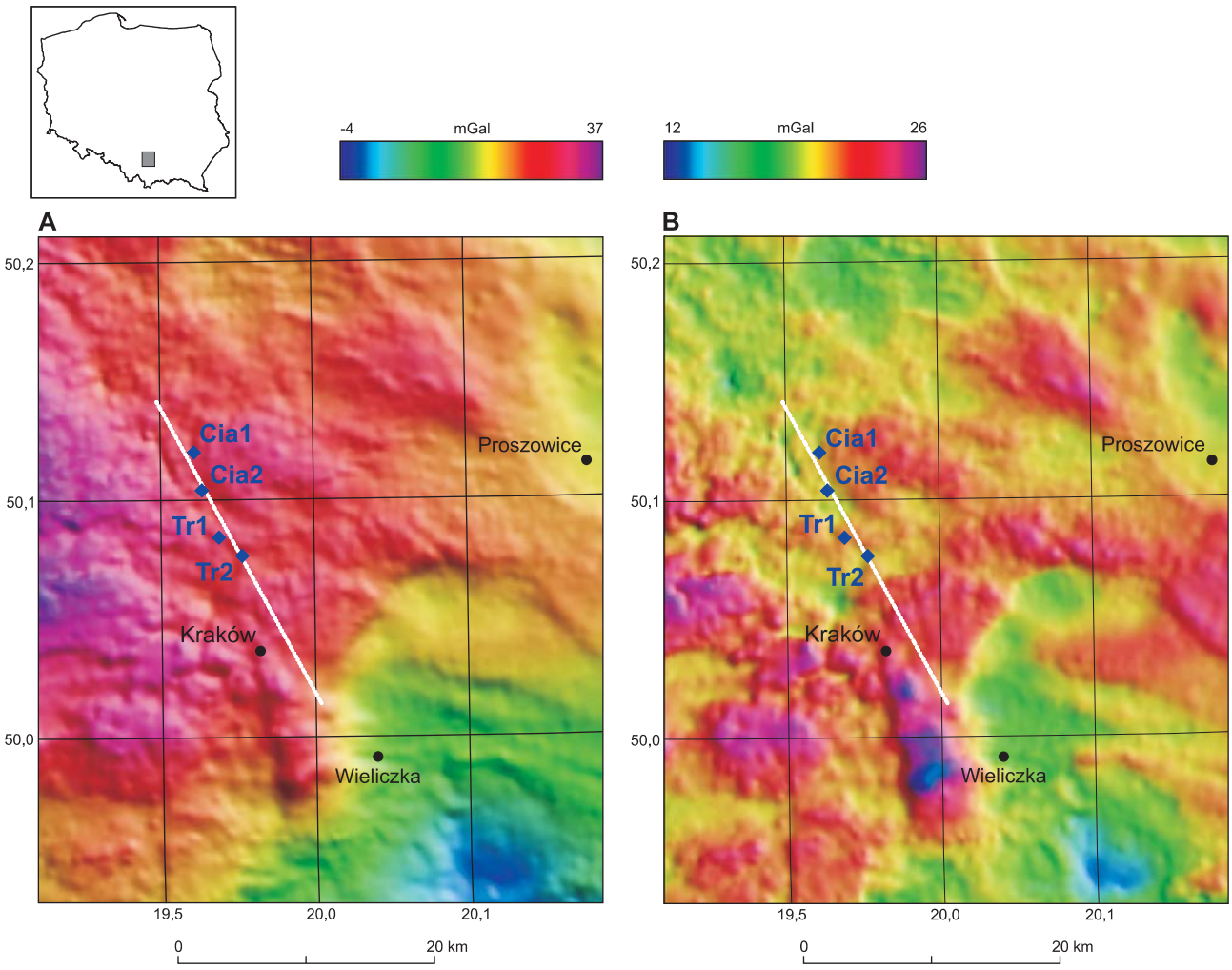


Fig. 1. A. Mapa reliefowa anomalii pola grawitacyjnego w redukcji Bouguera. B. Mapa reliefowa anomalii resztkowych pola grawitacyjnego. Na bialo zaznaczono lokalizację fragmentu przekroju geologicznego (Habryn i in., 2014, wzdłuż którego opracowano modelowanie gęstościowe

Cia1 – Cianowice 1, Cia2 – Cianowice 2, Tr1 – Trojanowice 1, Tr2 – Trojanowice 2

A. Relief image of gravity field (Bouguera anomalies). B. Relief image of local gravity anomalies. Location of the part of the geological cross-section (Habryn *et al.*, 2014) along which a density model was developed is marked with a white line

Cia1 – Cianowice 1, Cia2 – Cianowice 2, Tr1 – Trojanowice 1, Tr2 – Trojanowice 2 boreholes

METODY BADAŃ

Mapę w redukcji Bouguera (gęstość redukcji 2,67 g/cm^3, fig. 1A) wykreślono na bazie grawimetrycznego zdjęcia półszczegółowego (Królikowski, Petecki, 1995). Mapę anomalii całkowitego natężenia ziemskiego pola magnetycznego wyznaczono natomiast na podstawie naziemnego, półszczegółowego zdjęcia wykonanego przez Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych w 1998 r. (Kosobudzka, Paprocki, 1998).

Transformacje pól potencjalnych usuwające trend regionalny, uwypuklające tym samym szczegółowy charakter obrazu, pomagają w opisie struktur lokalnych. Ten efekt uzyskano dla pola grawitacyjnego w dwóch krokach. Pierwszym było analityczne przedłużenie w górę o 2,5 km anomalii w redukcji Bouguera (transformacja FFT). Drugim krokiem było obliczenie różnicy między mapą anomalii w redukcji Bouguera a mapą transformowaną (przedłużoną). Anomalie resztkowe uzyskane w ten sposób przedstawiono na figurze 1B.

Wzdłuż wyznaczonego profilu opracowano jedynie model gęstościowy, bez jego magnetycznego odpowiednika. Taka sytuacja jest spowodowana tym, że w południowej części profilu nie było możliwe pozyskanie danych magnetycznych. Jest to wynik obecności bardzo silnych zakłóceń różnorakiego pochodzenia (trakcje kolejowe, szum elektryczny aglomeracji krakowskiej). Profil, wzdłuż którego wykonano modelowanie gęstościowe, wyznaczono tak, aby prowadził przez cztery otwory: Trojanowice 1 (Tr1), Trojanowice 2 (Tr2), Cianowice 1 (Cia1) i Cianowice 2 (Cia2). Jego po-

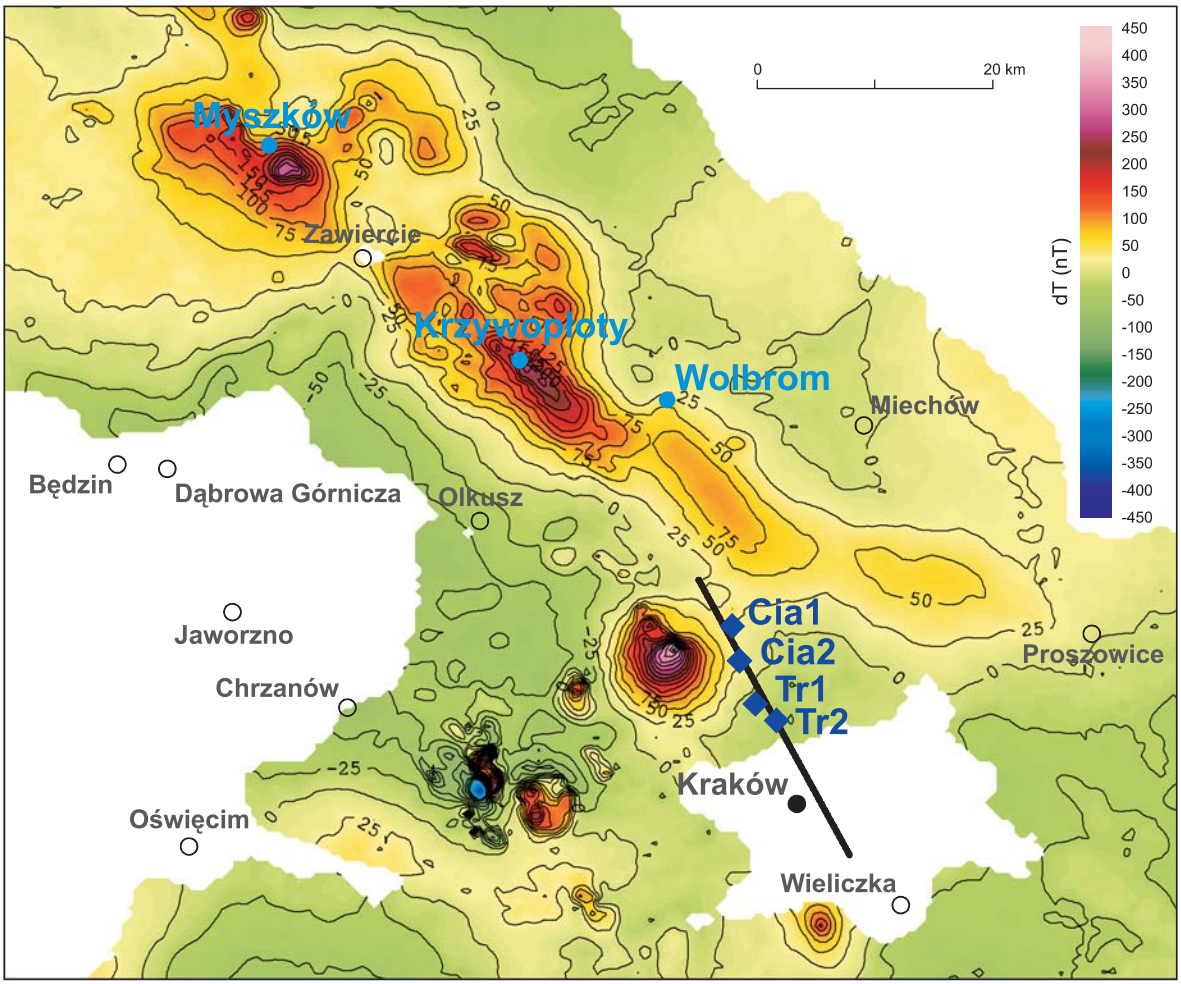


Fig. 2. Mapa anomalii całkowitego natężenia pola magnetycznego.

Niebieskim kolorem podpisano anomalie wymieniane w tekście. Granatowe romby oznaczają lokalizację otworów (symbole jak na fig. 1), czarna linia pokazuje lokalizację profilu (Habryn, 2013)

Map of total intensity of Earth magnetic field anomalies.

Magnetic anomalies described in the article are signed with blue colour. Dark blue diamonds mark borehole locations (names as in Fig. 1), profile location is marked with a black line (Habryn, 2013)

łudniowa część jest położona w obrębie wspomnianej luki (fig. 2), a północna część – na obszarzeniezaburzonym, ale pomiędzy dwiema wyraźnymi anomaliami dodatnimi. Takie usytuowanie, zdeterminowane lokalizacją otworów, uniemożliwia przeprowadzenie dwuwymiarowego modelowania magnetycznego, które zakłada, że wymiar modelowanego ciała prostopadły do osi profilu jest nieskończony.

Badania gęstości i porowatości wykonano w laboratorium Wydziału Inżynierii Materiałowej i Ceramiki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Badania podatności magnetycznej (κ) i natężenia naturalnej pozostałości magnetycznej (INRM) wykonano w laboratorium paleomagnetycznym PIG-PIB.

Gęstość rzeczywista (gęstość masy) γ jest określana jako gęstość materiału litego, niezawierającego porów. Przed jej pomiarem było zatem konieczne sproszkowanie próbek skały. Pomiary wykonano za pomocą pikometru helowego AccuPyc 1330 firmy Micrometrics. Za pomocą czystego helu wyznaczono objętość badanych próbek oraz odchylenie standardowe. Wyniki te posłużyły do obliczenia gęstości. Dla każdej próbki wykonano 5 pomiarów. Były one poprzedzone wstępnym desorbowaniem próbek poprzez 10-ciokrotne przepłukiwanie ich czystym helem.

Gęstość objętościowa (pozorna) ρ_o to stosunek masy wysuszonej próbki do jej całkowitej objętości, łącznie z porami, natomiast porowatość całkowita (ogólna) K_{po} to stosunek objętości porów otwartych i zamkniętych do całkowitej objętości próbki, wyrażony w procentach. Pomiary obu parametrów wykonano za pomocą analizatora gęstości GeoPyc model 1360 firmy Micrometrics. Pomiar polega na wyznaczeniu objętości „zewnętrznej" próbki (łącznie z porami). Przyrząd dokonuje tego poprzez dokładne wyznaczenie objętości, odpowiednio dobranej ilości proszku, a następnie objętości proszku łącznie z próbką. Do wyznaczania objętości wykorzystuje się specjalny proszek o nazwie DryFlo, który charakteryzuje się kulistym kształtem ziaren, brakiem ich odkształceń w trakcie pomiaru oraz wysoką zdolnością płynięcia.

Pomiary podatności magnetycznej wykonano przy użyciu κ-mostka *KLY-2* firmy *AGICO,* na sześciennych próbkach o wymiarach 2×2×2 cm. Wszystkie wyniki odniesiono do jednakowej wagi 10 g. Pomiary namagnesowania wykonano przy użyciu magnetometru rotacyjnego *JR-6*, także firmy AGICO.

INTERPRETACJA MAPY ANOMALII PÓL POTENCJALNYCH

W 2004 roku Królikowski i in. (*w*: Buła i in., 2004) przedstawili obraz anomalii grawimetrycznych strefy Kraków–Lubliniec. Wyróżnili oni między innymi wyż górnośląski obejmujący monoklinę śląsko-krakowską i zapadlisko górnośląskie. Dodatkowo wskazali na „dwuwarstwowość charakteru anomalii grawimetrycznych". Według tego ujęcia tło regionalne tworzy pierwsza warstwa anomalii o wartościach od 0 do 10 mGali (kolor pomarańczowy i czerwony na figurze 1A), których źródeł należy szukać w wyniesieniu śród- i podskorupowych powierzchni dodatnich kontrastów gęstości. Drugą warstwę mają natomiast stanowić anomalie o charakterze lokalnym, rzędu 15–20 mGal, wiązane z budową skał mezozoiku i paleozoiku (czerwień i fiolety na figurze 1B).

Rów Krzeszowic, będący centralną strukturą przedstawionego w dalszej części rozdziału modelu (fig. 3), na obrazie anomalii bouguerowskich zarysowuje się stosunkowo słabo, w postaci niewielkiego spadku wartości pola grawitacyjnego. Wyraźniej jest widoczny na mapie anomalii resztkowych (fig. 1B), ale także w tym przypadku zwraca uwagę fakt, że wartości natężenia pola grawitacyjnego w części zrzuconej są w przybliżeniu takie same, jak na północnym odcinku profilu należącym już do bloku małopolskiego. Obraz taki wyjaśniają częściowo wyniki wykonanych analiz gęstościowych oraz opracowany przy ich wykorzystaniu wspomniany już model.

Znaczący spadek wartości przyspieszenia ziemskiego w kierunku południowo-wschodnim (fig. 1A) jest spowodowany wkraczaniem w obręb północnej krawędzi rozległej anomalii karpackiej, analizowanej m.in. w „Atlasie geofizycznym Karpat" (Lemberger i in., 2008a, b).

Charakterystyka pola grawitacyjnego i magnetycznego obszaru ściśle związanego z kontaktem bloku małopolskiego z górnośląskim ze szczególnym uwzględnieniem strefy Myszkowa została przedstawiona przez Cieślę i Wybrańca (Podemski i in., 2001). Wskazali oni na porfiry i niektóre serie łupków paleozoicznych jako główne nośniki cech magnetycznych. We wcześniejszym, niepublikowanym raporcie (Cieśla i in., 1984) przedstawiono wyniki obliczeń sumarycznego efektu magnetycznego pochodzącego od tych utworów nawierconych w otworach zlokalizowanych w obrębie magnetycznej anomalii Myszkowa (nieprzekraczających 750 m głębokości). Okazał się on stosunkowo niewielki w porównaniu z amplitudą anomalii. Z opracowanego przez autorów modelowania wynika, że strop serii skalnych będących głównym źródłem tej anomalii zalega poniżej 1200 m. Podobną głębokość uzyskano w przypadku modelowania anomalii magnetycznej Krzywopłotów (fig. 2). Na tej podstawie można przypuszczać, że strop zasadniczych serii zaburzających, generujących obie anomalie, może pokrywać się z głębokością stropowych partii podłoża, w których zaznacza się górna granica tektonicznej strefy kontaktowej Myszkowa–Wolbromia, wyinterpretowanej z obrazu grawimetrycznego. Może to świadczyć o genetycznym związku obu anomalii magnetycznych (a szczególnie anomalii Myszkowa) z tą strefą, zwłaszcza, że jest ona najprawdopodobniej nachylona w kierunku na NE.

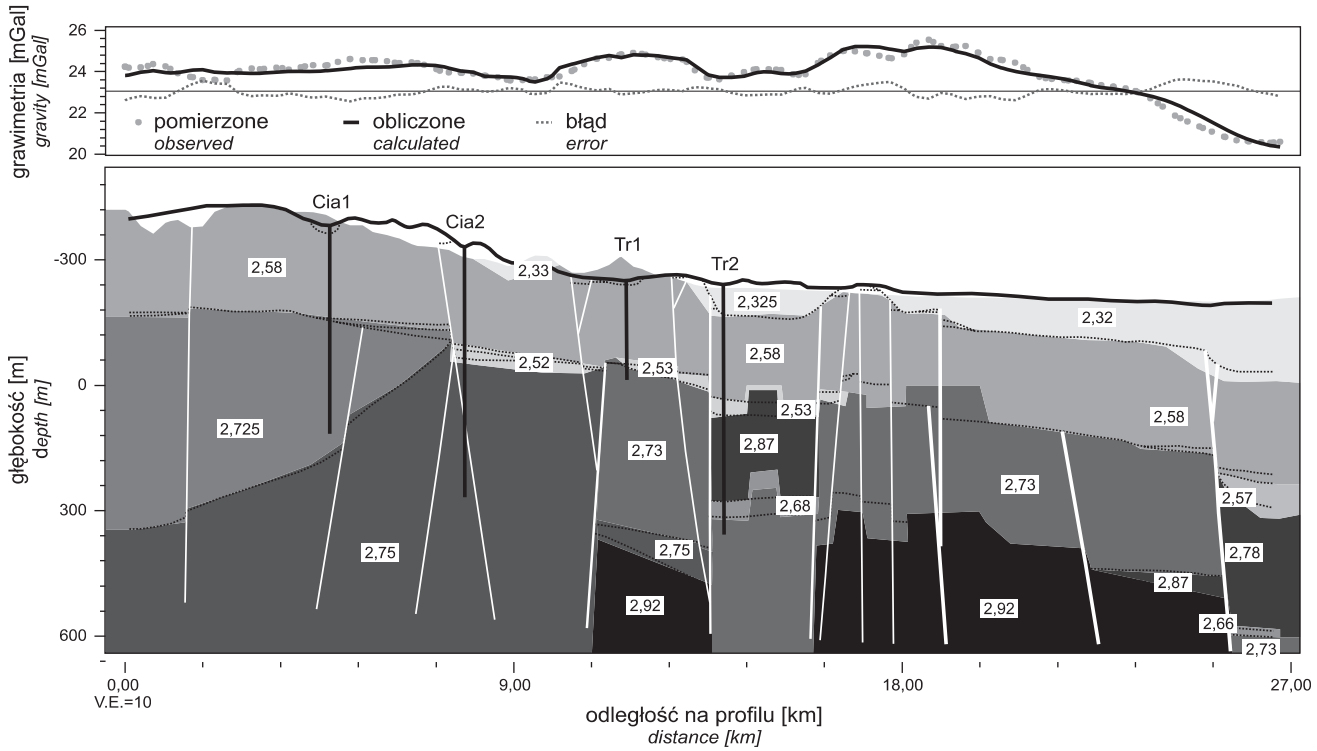


Fig. 3. Dwuwymiarowy model gęstościowy wykonany wzdłuż profilu zgodnego z przebiegiem przekroju geologicznego Buły i in. (2013)

Two-dimensional density model along the geological cross-section of Buła *et al.* (2013)

Pozycja strukturalna przejawów magmatyzmu na tym obszarze została przedstawiona przez Żabę (1999). Widoczna na figurze 2 wydłużona i niezbyt silna anomalia sąsiadująca od NE z profilem wydaje się być przedłużeniem strefy magmatyzmu towarzyszącego wspomnianemu kontaktowi. Oddalenie od strefy kontaktowej, a zatem mniejsze możliwości przedostania się magmy na płytsze głębokości dało efekt w postaci znacznie łagodniejszego charakteru anomalii. Strop aktywnego podłoża znajduje się na pewno na większej głębokości, gdyż istniejące w tym obszarze otwory o maksymalnej głębokości 1600 m nie nawiercają go.

Źródłem silnej anomalii położonej na południowy zachód od centrum profili są permskie skały wulkaniczne w rejonie Krzeszowic, których magnetyzm był analizowany we wcześniejszych publikacjach (Nawrocki i in., 2005, 2008).

WYNIKI BADAŃ PARAMETRÓW PETROFIZYCZNYCH

Badania gęstości i porowatości w otworach Cianowice 2 i Trojanowice 2 wykonano na zbiorach odpowiednio 59 i 61 próbek z rdzeni. γ pomierzono na mniejszej liczbie próbek, tak aby były reprezentowane wszystkie występujące w badanym odcinku typy litologiczne. Posłużyła ona następnie obliczeniu ρ_o i K_{po}. W iłowcach ediakarskich z Cianowic 2 uzyskano wartości γ w przedziale 2,79–2,82 g/cm^3. Średnie wartości ρ_o i K_{po} to odpowiednio 2,65 g/cm^3 (zmienność w zakresie od 2,55 do 2,75 g/cm^3) i 5,40% (zmienność w zakresie od 2,01 do 9,4%). Zarówno wartość średnia, jak i maksymalna uzyskana w Cianowicach jest zatem niższa od średniej ρ_o=2,76 g/cm^3 określonej dla bloku małopolskiego w opracowaniu Buły i in. (2004), a bliższa jest średniej γ uzyskanej w tym opracowaniu w utworach kambru bloku górnośląskiego. Odwrotnie jest w przypadku gęstości kambru w otworze Trojanowice 2. Tutaj uzyskana średnia (2,73 g/cm^3) jest wyraźnie wyższa od uzyskanych wcześniej zarówno przez Bułę i in. (2004) dla bloku górnośląskiego, jak i przez Królikowskiego i in. (Grupa Robocza Celebration, 2008) dla monokliny śląsko-krakowskiej (w strefie graniczącej z blokiem górnośląskim). W ramach tego opracowania wykonano gęstościowy model południowo-wschodniej części Polski. Rozpoznanie gęstościowe w rejonie monokliny śląsko-krakowskiej określono na podstawie danych z 18 otworów. Autor określił następujące średnie wartości gęstości głównych wydzieleń stratygraficznych: jura – 2,41 g/cm^3, trias – 2,49 g/cm^3, perm (na

Tabela 1

Gęstość rzeczywista skał poszczególnych typów litologicznych w otworze Trojanowice 2

Particle density of rock samples representative for selected lithologies of the Trojanowice 2 borehole

h [m]	γ [g/cm^3]	Litologia
130	2,820	wapień pelityczny
295	2,760	piaskowiec z drobnymi wkładkami zlepieńca, z okruchami węgla
325	2,790	dolomit, niektóre kawerny wypełnione kalcytem, wkładki iłów
379	2,940	dolomit wapnisty
445	2,948	margle dolomityczne
473	2,923	dolomit silnie spękany
519	2,909	dolomit, w spągu brekcja tektoniczna
586	2,851	mułowiec, miejscami laminowany materiałem ilasto-dolomitycznym

h – głębokość, γ – gęstość rzeczywista
h – depth, γ – particle density

podstawie tylko 2 otworów) – 2,51 g/cm^3, karbon – 2,64 g/cm^3, dewon – 2,71 g/cm^3, sylur – 2,74 g/cm^3. Średnia 2,41 dla utworów jurajskich jest zatem niższa od otrzymanych obecnie wyników. Może to być efektem zróżnicowanej, a jednocześnie dość wysokiej porowatości całkowitej, wpływającej bezpośrednio na wysokość gęstości objętościowej ρ_o.

Wyniki badań γ uzyskane w Trojanowicach (od górnej jury po dolny kambr) przedstawiono w tabeli 1, a uśrednione ρ_o i K_{po} poszczególnych wydzieleń litologicznych i jednostek stratygraficznych w tabeli 2. Najwyższą gęstością objętościową, a zarazem najmniejszą porowatością charakteryzują się utwory dewonu środkowego, zdominowane przez różne typy dolomitu. Na podwyższone wartości dewońskiego dolomitu wskazują również Habryn i in. (Buła i in, 2004).

Podatność magnetyczna κ w otworze Trojanowice 2 kształtuje się na dość niskim poziomie, rzędu 10–30 $\cdot 10^{-6}$ j. SI. Iłowce ediakarskie z Cianowic wykazują natomiast podatność o rząd wielkości wyższą – obliczona wartość średnia wynosi 168,50 $\cdot 10^{-6}$ j. SI. Temu podwyższeniu nie towarzyszy natomiast wzrost natężenia namagnesowania (INRM), które podobnie jak w młodszych utworach z Trojanowic, waha się w okolicy poziomu 10 $\cdot 10^{-4}$ A/m.

MODELOWANIE GĘSTOŚCIOWE

Figura 3 przedstawia wynikowy, dwuwymiarowy model grawimetryczny (gęstościowy) opracowany wzdłuż przekroju geologicznego opisanego przez Habryna (Habryn i in., 2014). Model przygotowano przy użyciu programu GM-SYS. Krzywą pomiarową wycięto z wcześniej przygotowanej mapy grawimetrycznej w redukcji Bouguera, o oczku siatki 0,5×0,5 km, z gęstością redukcji 2,67 g/cm^3. Model wykonano do głębokości 620 m p.p.m. Poniżej oraz po obu stronach modelu przyjęto gęstość równą gęstości redukcji. Ponieważ krzywa modelowana jest krzywą w redukcji Bouguera, a punkty pomiarowe znajdują się na pewnej wysokości (nie na poziomie morza), dla utworów znajdujących się powyżej poziomu morza (powyżej zerowej powierzchni ekwipotencjalnej) jako gęstość przyjęto kontrast między żądaną wartością a gęstością redukcji, czyli np. gęstość 2,24 g/cm^3 oznacza, że w modelu przyjęto wartość –0,43 g/cm^3. Do ułatwienia śledzenia zmian gęstości na profilu (fig. 3) przedstawiono bezwzględne ich wartości. Należy jeszcze dodać, że morfologia terenu w przedstawianym modelu gęstościowym różni się od morfologii przeniesionej z proponowanego przekroju geologicznego. Pierwsza z nich jest wynikiem interpolacji między wartościami wysokości n.p.m. punktów grawimetrycznych wykorzystanych w konstrukcji mapy, z której wycięto krzywą pomiarową.

Model skonstruowano tak, aby w jak największym stopniu wykorzystać wcześniej pozyskane informacje geologiczne i geofizyczne. Podstawowymi ograniczeniami parametryzującymi model były:

- profile stratygraficzne w otworach wiertniczych Trojanowice 2 i Cianowice 2 (otwory na figurze 3 zaznaczono czarnymi liniami);
- gęstości objętościowe wyznaczone dla próbek rdzeni pobranych z tych otworów;

Tabela 2

Średnie gęstość pozorna i porowatość całkowita poszczególnych typów litologicznych i wydzieleń stratygraficznych w otworze wiertniczym Trojanowice 2

Average bulk density and total porosity of individual lithologies and strata in the Trojanowice 2 borehole

Wiek	Litologia	n	Średnia dla litologii		Średnia dla wieku	
			ρ_o	K_{po}	ρ_o	K_{po}
Jura górna	margiel	1	2,72	3,61	2,58	8,58
	wapień pelityczny	10	2,57	8,93		
	brekcja	1	2,64	6,53		
	wapień	2	2,53	10,32		
Jura środkowa	piaskowiec	1	2,53	8,34	2,53	8,34
Dewon środkowy	dolomit	17	2,84	3,11	2,84	3,15
	dolomit wapnisty	7	2,88	2,31		
	dolomit dolomityczny	2	2,76	6,33		
	dolomit marglisty	2	2,83	3,25		
Dewon dolny	mułowiec	5	2,64	7,58	2,63	7,77
	piaskowiec kwarcytowy	1	2,61	8,56		
Kambr dolny	mułowiec	7	2,73	4,25	2,73	4,25

n – liczba próbek, ρ_o – gęstość pozorna, K_{po} – porowatość całkowita
n – number of samples, ρ_0 – bulk density, K_{po} – total porosity

– przekrój geologiczny (Habryn i in., 2007a, b) – granice stratygraficzne określone na przekroju, na figurze 3 zaznaczono szarymi liniami, a nieciągłości – białymi.

Krzywa grawimetryczna wykazuje wzdłuż profilu niewielkie zróżnicowanie – w zakresie jedynie 6 mGali. Mapa grawimetryczna (fig. 1A, B) przedstawia, że modelowany profil jest ulokowany równolegle do sąsiadujących na WSW i ENE wyży o podobnej do profilu rozciągłości. Przebiega on równolegle także do głównych nieciągłości i kontaktów przedstawionych na mapie geologicznej (Habryn i in., 2014). Przebieg profilu został jednak wymuszony lokalizacją otworów wiertniczych, zmuszając niejako autorkę do opracowania modelu przeciwnie do podstawowych zasad tego rodzaju prac.

Biorąc pod uwagę niezwykle łagodny przebieg krzywej anomalii pola grawitacyjnego wzdłuż modelowanego profilu, uzyskano bardzo dobre dopasowanie krzywej modelowej do teoretycznej, przy zachowaniu na ogół pierwotnie założonej struktury. Konieczne jednak było podwyższenie gęstości utworów ediakarskich do poziomu 2,75 g/cm^3, czyli bliższego wartościom ze wcześniej wspominanych innych opracowań. Podstawową korektą wniesioną do geometrii modelu jest wprowadzenie dodatkowej struktury zrębowej w obrębie rowu krzeszowickiego. Struktura ta sięga utworów kambryjskich. Wypiętrzenie tych właśnie utworów (o ok. 20 m), charakteryzujących się gęstościami podwyższonymi względem nadkładu, umożliwiło wymodelowanie lokalnego maksimum grawitacyjnego, obecnego w centralnej części struktury.

Liczne zmiany struktury uskoków (stopnia wypiętrzenia) wprowadzono na obszarze bloku górnośląskiego, w pasie ok. 6 km od południowo-wschodniej granicy rowu Krzeszowic. Poskutkowało to przede wszystkim zaburzeniem miąższości utworów jury na tym obszarze.

Jest to następstwem dodatkowego wypiętrzenia utworów kambru, archaiku i wczesnego proterozoiku. Takie posunięcie było jednak konieczne w celu wymodelowania lokalnego maksimum na krzywej anomalii Bouguera.

W niewielkim stopniu zostały zróżnicowane gęstości osadów mezozoiku (2,32–2,33 g/cm^3), pominięto natomiast, jako nieistotne dla głównego celu pracy, niewielkie wypełnienia kredowe na obszarze bloku małopolskiego. Osady te charakteryzują się co prawda obniżonymi gęstościami, które zazwyczaj pomagają w wymodelowaniu anomalii ujemnych, ale w przypadku opisywanego przekroju, ich wpływ na krzywą modelowaną jest zaniedbywalny.

PODSUMOWANIE

Zaproponowany model gęstościowy w znacznym stopniu potwierdza interpretację geologiczną zaproponowaną przez Habryna i in. (2007a, b). Zasugerowane niewielkie zmiany w geometrii poszczególnych wydzieleń, a zwłaszcza dodatkowa struktura zrębowa rowu krzeszowickiego, nie mają wpływu na podstawowe rozwiązania przedstawione na przekroju: przebieg granicy między blokami małopolskim i górnośląskim, podstawowy system uskoków, czy miąższość poszczególnych wydzieleń stratygraficznych. Konieczność podwyższenia gęstości utworów kambru, w stosunku do wartości uzyskanych w wyniku pomiarów laboratoryjnych, nie oznacza błędnego określenia tych ostatnich, a jedynie wskazuje na niejednoznaczność modelu. Jak wspomniano w części poświęconej wynikom modelowania przebieg profilu, wzdłuż którego wykonano modelowanie wybrano dość niefortunnie. Źródła dodatnich anomalii sąsiadujących obustronnie z profilem mogą powodować podwyższenie wartości pola grawitacyjnego na samym profilu.

LITERATURA

BUŁA Z., HABRYN Z., KARWASIECKA M., KRÓLIKOWSKI C., MARKIEWICZ J., MARKOWIAK M., NOWAK I., PETECKI Z., ŻELAŹNIEWICZ A., ŻÓŁTOWSKI Z., 2004 — Paleozoiczna akrecja Polski, zad. 2: Geofizyczno-geologiczny obraz strefy kontaktowej Kraków–Lubliniec. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.

CIEŚLA E., KOSOBUDZKA I., OKULUS H., 1984 — Monoklina śląsko-krakowska w naturalnych polach fizycznych Ziemi: grawitacyjnym i magnetycznym. Sympozjum nt. Badania geofizyczne przy poszukiwaniu i rozpoznawaniu złóż surowców stałych. PBG i SITG, Jabłonna k. Warszawy, 7–8 czerwca 1984.

HABRYN R., BUŁA Z., CHMURA A., FILIPIAK P., GARECKA M., INDYK A., JACHOWICZ M., MARKOWIAK M., MATYJA B.A., NOWAK J., OLSZEWSKA B., PACZEŚNA J., POLECHOŃSKA O., SIKORA R., STADMULLER M., TOMAŚ A., TRUSZEL M., WOŹNIAK P., ZIÓŁKOWSKI P., ŻABA J., 2007a — Dokumentacja geologiczna otworu badawczego Trojanowice-2 – Zintegrowany program płytkich wierceń badawczych dla rozwiązania istotnych problemów budowy geologicznej Polski. Problem 10. Geologiczno-strukturalne rozpoznanie strefy rozłamu Kraków–Lubliniec na odcinku krakowskim. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.

HABRYN R., BUŁA Z., CHMURA A., INDYK A., JACHOWICZ M., MARKOWIAK M., MATYJA B.A., NOWAK J., OLSZEWSKA B., PIEŃKOWSKI G., POLECHOŃSKA O., SIKORA R., STADMULLER M., TRUSZEL M., ZIAJA J., ZIÓŁKOWSKI P., ŻABA J., 2007b — Dokumentacja geologiczna otworu badawczego Cianowice 2 – Zintegrowany program płytkich wierceń badawczych dla rozwiązania istotnych problemów budowy geologicznej Polski. Problem 10. Geologiczno-strukturalne rozpoznanie strefy rozłamu Kraków–Lubliniec na odcinku krakowskim. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.

HABRYN R., BUŁA Z., NAWROCKI J., 2014 — Strefa tektoniczna Kraków–Lubieniec na odcinku krakowskim w świetle danych z nowych otworów badawczych Trojanowice 2 i Cianowice 2. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **459**: 47–60.

GRUPA ROBOCZA CELEBRATION'2000 (JAROSIŃSKI M., KRÓLIKOWSKI CZ., MAJOROWICZ J., PETECKI Z., POLECHOŃSKA O., WRÓBEL G., WRÓBLEWSKA M., WYBRANIEC S., ŻÓŁTOWSKI Z.), 2008 — Kompleksowa interpretacja anomalii pól potencjalnych wzdłuż wszystkich profili głębokich badań refrakcyjnych zrealizowanych na całym obszarze CELEBRATION'2000. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.

KOSOBUDZKA I., PAPROCKI A., 1998 — Półszczegółowe badania magnetyczne T Polski zachodniej, centralnej i południowo-wschodniej 1996–1998. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.

KRÓLIKOWSKI C., PETECKI Z., 1995 — Atlas grawimetryczny Polski. Państw. Inst.Geol., Warszawa.

LEMBERGER M., KOSOBUDZKA I., KRÓLIKOWSKI C., OSTROWSKI C., PETECKI Z., STEFANIUK M., TARGOSZ P., WRÓBLEWSKA M., 2008a — Atlas geofizyczny Karpat. *Prz. Geol.*, **56**, 6: 455–457.

LEMBERGER M., OSTROWSKI C., KRÓLIKOWSKI C., GRABOWSKI J., STEFANIUK M., KOSOBUDZKA I., FAJKLEWICZ Z., PETECKI Z., WRÓBLEWSKA M., 2008b — Dookumentacja przedsięwzięcia z dziedziny potrzeb geologii „Atlas gefizyczny Karpat". Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.

NAWROCKI J., FANNING M., LEWANDOWSKA A., POLECHOŃSKA O., WERNER T., 2008 — Paleomagnetism and the age of the Cracow volcanic rock (S Poland). *Geophys. J. Int.*, **174**, 2: 475–488.

NAWROCKI J., POLECHOŃSKA O., LEWANDOWSKA A., WERNER T., 2005 — On the paleomagnetic age of the Zalas laccolith (southern Poland). *Acta Geol. Pol.*, **55**: 229–236.

PODEMSKI M., BUŁA Z., CHAFFEE M.A., CIEŚLA E., EPPINGER R., HABRYN R., KARWOWSKI Ł., LASOŃ K., MARKIEWICZ J., SNEE L.W., ŚLÓSARZ J., TRUSZEL M., WYBRANIEC S., ŻABA J., 2001 — Paleozoic porphyry molybdenum-tungsten deposit in the Myszków area, southern Poland. *Pol. Geol. Inst. Sp. Papers*, **6**: 1–88.

ŻABA J., 1999 — Ewolucja strukturalna utworów dolnopaleozoicznych w strefie graniczne bloków górnośląskiego i małopolskiego. *Pr. Państw. Inst. Gel.*, **166**: 1–162.

SUMMARY

Gravity and magnetic images analysis were carried out in order to supplement geological research focused on cores of Cianowice 2 and Trojanowice 2 wells. Regional background of Bouguer anomaly map was calculated with the use of analytical upward continuation on 2.5 km level. It was removed from a Bouguer anomaly map and thus local structures were underlined. Interpretation of both potential fields was based on archive papers (Buła *et. al.*, 2004; Lemberger *et al.*, 2008a, b; Podemski *et al.*, 2001; Cieśla *et al.*, 1984; Żaba, 1999; Nawrocki *et al.*, 2005, 2008).

Total and bulk density, total porosity and magnetic susceptibility as well as intensity of natural remnant magnetization (INRM) were measured on a representative set of samples taken from distinct lithological and stratigraphic units. Those parameters were compared to the previous results of petrophysical studies of Malopolska and Upper Silesian blocks (Buła *et al.*, 2004). Average density values of Ediacaran claystones in the Cianowice 2 borehole turned out to be much lower (2.67 g/cm^3 instead of 2.76 g/cm^3 for the Malopolska Block) and are closer to the densities of Cambrian rocks in the Trojanowice 1 borehole. On the other hand, densities of Cambrian rocks from the Trojanowice 2 borehole (2.73 g/cm^3) are lower than Upper Silesian Block densities estimated by Buła (Buła *et al.*, 2004). Magnetic susceptibility of Cambrian rocks in the Trojanowice 2 is relatively low, and it is by an order of magnitude higher for Ediacaran rocks in the Cianowice 2.

The next stage of research was two-dimensional gravity modeling along the profile crossing four wells: Cianowice 1 and 2, and Trojanowice 1 and 2. Geological structure is based on a cross-section constructed by Habryn *et al.* (2014). Densities of individual blocks were defined based on bulk density measurements described above, but in the case of Ediacaran rocks, a higher density, as shown by Buła *et al.* (2004) had to be assumed. The model suggests that some small changes of the interpretation of the geological structure should be made, but the general interpretation guidelines remain the same. Changes of faults structure (amount of uplift) entered to Upper Silesian block affected thickness of Jurrasic sediments. It has been impossimble to develop a magnetic model because of the lack of data in the south part of the profile (Kraków agglomeration area).