



## Poszukiwanie intruzji granitoidowej będącej źródłem mineralizacji polimetalicznej w rejonie na NW od Krakowa z zastosowaniem metod geofizycznych

Marek Markowiak<sup>1</sup>, Paweł Czarniak<sup>2</sup>, Ryszard Habryn<sup>1</sup>



M. Markowiak



P. Czarniak



R. Habryn

**Searching for granitoid intrusion as the source of polymetallic mineralization in the NW area of Kraków with the use of geophysical methods.** Prz. Geol., 67: 465–477; doi: 10.7306/2019.36

*Abstract.* Borehole Cianowice-2 was drilled several kilometers to the NW of Kraków. Under the Jurassic deposits, at a depth of 265.3–600.0 m, Ediacaran clastic sediments with polymetallic mineralization represented by a group of dozen ore minerals, mainly sulphides and sulphosalts were found. This is low-temperature, hydrothermal mineralization, which along with local metasomatic transformations indicates that the Ediacaran rocks are probably related to the nearby intrusion of acid igneous rocks. In order to locate this hypothetical intrusion, detailed gravimetric and magnetic

tests were performed. As a result, a negative gravimetric anomaly was discovered with minima in the region of Maszyce and Prądnik Ojcowski. An optimal borehole location for a further exploration was proposed near the Podmaszyckie hamlet at a depth of about 1000 m.

**Keywords:** Kraków–Lubliniec tectonic zone, Ediacaran, polymetallic mineralization, gravimetry, magnetics, analysis of potential fields

Strefa uskokowa Kraków–Lubliniec, oddzielająca blok górnośląski od małopolskiego, determinuje występowanie mineralizacji polimetalicznej. Wieloletnie badania wykazały, że zachodnia, krawędziowa część bloku małopolskiego, rozcięta licznymi waryscyjskimi intruzjami kwaśnych skał magmowych, jest predysponowana do tworzenia koncentracji kruszców typu porfirowego, nawet o charakterze złożowym (złoże Mo–W–Cu Myszków). Na obszarze tym podwyższone koncentracje mineralizacji polimetalicznej, związane z kwaśnymi intruzjami, stwierdzono również w okolicy Mysłowa, Nowej Wsi Żareckiej, Mrzygłodu, Żarek-Kotowic, Zawiercia, Pilicy i Doliny Będkowskiej.

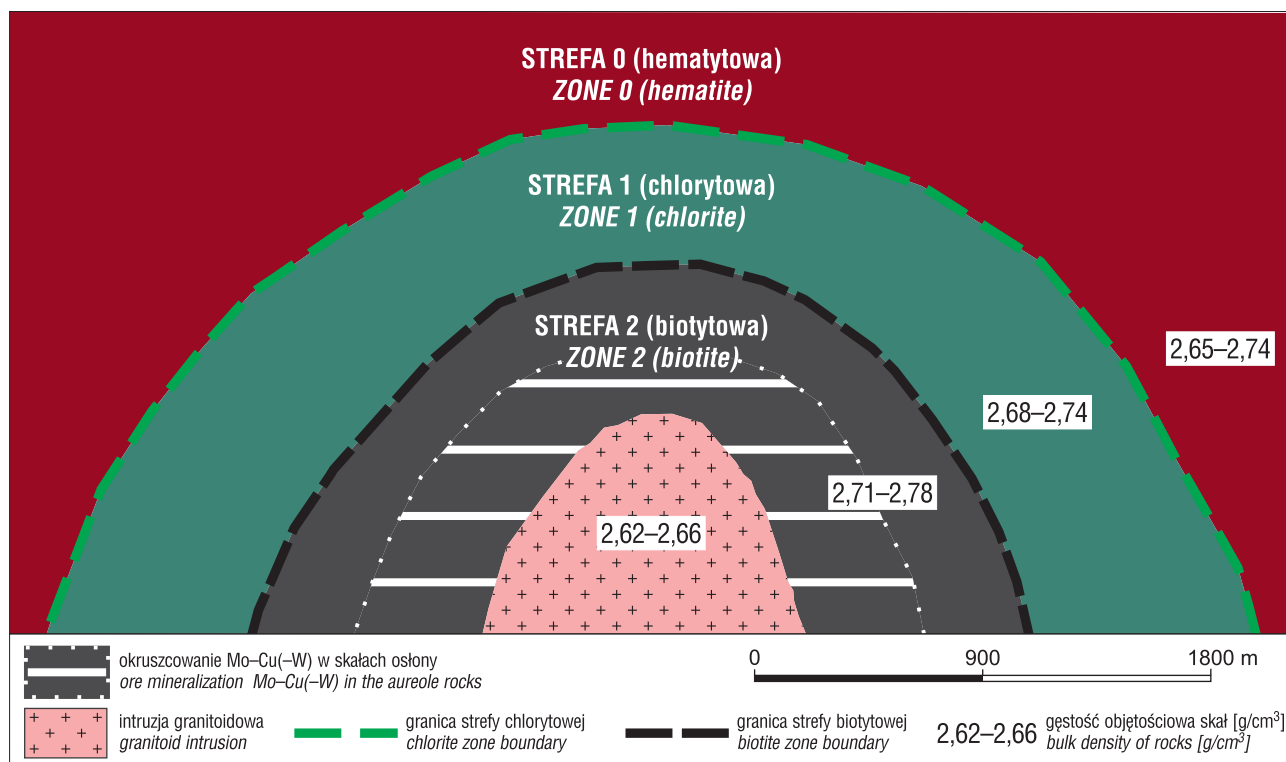
W 2007 roku, kilkanaście kilometrów na NW od Krakowa w miejscowości Grębyńce (powiat krakowski, gmina Zielonki) został odwiercony otwór Cianowice-2, w którym bezpośrednio pod osadami jury, na głębokości 265,3–600,0 m, nawiercono drobnoklastyczne osady ediakaru z przejawami mineralizacji kruszczowej (Habryn i in., 2014). Okruszczowanie w skałach ediakaru w profilu otworu Cianowice-2 jest bardzo ubogie, jednak reprezentuje szeroki zespół mineralny: chalkopiryt, piryt, bornit, minerały szeregu galena-clausthalit, minerały szeregu tennantyt-tetraedryt, kowelin, chalkozyn, wittichenit, markasyt, sfaleryt, anglezyt. Stwierdzona mineralizacja ma wyraźnie charakter hydrotermalny, niskotemperaturowy (Markowiak, 2012, 2014). Rodzaj tej mineralizacji oraz lokalnie obserwowane przeobrażenia metasomatyczne, polegające na modyfikacji składu mineralnego skał, której towarzyszy zmiana ich zabarwienia z czerwono-brązowego na szarozielony, wskazują, że badane skały ediakaru z otworu Cianowice-2 w epoce waryscyjskiej znalazły się w zasięgu

słabych oddziaływań hydrotermalnych. Przez analogię do modelu przeobrażeń metasomatycznych obserwowanych wokół intruzji granitoidowych w krawędziowej części bloku małopolskiego (ryc. 1) można wysunąć hipotezę, że są to oddziaływania o intensywności charakterystycznej dla pogranicza strefy 0 i 1, a więc zachodziły w odległości ok. 1,5 km, maksymalnie do 2,0 km od źródła roztworów hydrotermalnych, jakim jest kwaśna intruzja magmowa.

Prawidłowe określenie lokalizacji i geometrii intruzji skał magmowych w warunkach ich występowania pod pokrywą kenozoiczną i mezozoiczną jest zagadnieniem niezwykle trudnym. Analiza pól potencjalnych w rejonie Kraków–Lubliniec wyraźnie wskazuje na zależność występowania lokalnych ujemnych anomalii grawimetrycznych od obecności kwaśnych skał magmowych. Wiertnicze rozpoznanie ujemnych anomalii rejonu Doliny Będkowskiej, Pilicy oraz Nowej Wsi Żareckiej, Myszkowa i Mrzygłodu potwierdziło obecność w podłożu granitoidów i porfirów kwarcowych. Oczywiście nie wszystkie ujemne anomalie grawimetryczne muszą być związane z intruzjami magmowymi, jednak są one istotną przesłanką dla poszukiwań polimetalicznych złóż typu porfirowego. W przedstawionym modelu (ryc. 1) wykazano, że strefowość zmian metasomatycznych osłony granitoidu cechuje również zmiana gęstości objętościowej. Zależy to głównie od intensywności zmian składu chemicznego skał, który jest następstwem przeobrażeń metasomatycznych. W bezpośrednim sąsiedztwie intruzji gęstość zmetamorfizowanych skał ediakaru ma zwykle wartości zbliżone do 2,8 g/cm<sup>3</sup> i maleją one wraz z odległością do wartości ok. 2,65 g/cm<sup>3</sup> (uśrednione wyniki z otworu Cianowice-2). W uproszczeniu (w modelu

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Górnośląski, ul. Królowej Jadwigi 1, 41-200 Sosnowiec; [marek.markowiak@pgi.gov.pl](mailto:marek.markowiak@pgi.gov.pl); [ryszard.habryn@pgi.gov.pl](mailto:ryszard.habryn@pgi.gov.pl)

<sup>2</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; [pawel.czarniak@pgi.gov.pl](mailto:pawel.czarniak@pgi.gov.pl)



**Ryc. 1.** Model przeobrażeń metasomatycznych wokół intruzji granitoidowych w krawędziorowej części bloku małopolskiego (Markowiak, 2015; zmieniony)

**Fig. 1.** A model of metasomatic alteration around granitoid intrusions in the marginal part of the Małopolska Block (Markowiak, 2015; modified)

idealnym), w prospekcji mineralizacji polimetalicznych typu porfirowego przy wykorzystaniu danych grawimetrycznych należy dokonać takich transformacji, które pozwolą ujawnić występowanie ujemnych anomalii z minimami nad centrami intruzji kwaśnych skał magmowych i pierścieniowym rozkładem anomalii dodatnich, związanych z podniesioną gęstością skał osłony wokół intruzji.

Wyżej wymienione przesłanki były podstawą do zaplanowania i wykonania szczegółowych badań grawimetrycznych oraz magnetycznych na analizowanym obszarze, celem zlokalizowania hipotetycznej intruzji granitoidowej, będącej źródłem mineralizacji polimetalicznej rozpoznanej w otworze Cianowice-2.

### LOKALIZACJA OBSZARU PRAC

Wybór obszaru badań został dokonany na podstawie analizy półszeregowej mapy anomalii grawimetrycznych (ryc. 2), z której wynika, że płytką ujemna anomalia grawimetryczna ciągnie się od Doliny Będkowskiej (charakteryzującej się intensywnym magmatyzmem i przejawami mineralizacji kruszcowej) i od północnego zachodu zbliża się do otworu Cianowice-2. Dlatego przyjęto, że najbardziej właściwym kierunkiem badań szczegółowych będzie właśnie kierunek północno-zachodni.

Teren badań znajduje się w województwie małopolskim w powiecie krakowskim w granicach administracyjnych gmin: Skała, Wielka Wieś i Zielonka. Rejon prac obejmował obszar na NW od otworu Cianowice-2 – m.in. miejscowości Maszyce i Smardzowice. Obszar objęty badaniami terenowymi jest zlokalizowany w niewielkiej części w granicach Ojcowskiego Parku Narodowego, w pozostałej części w granicach jego strefy ochronnej zwanej otuliną.

### BUDOWA GEOLOGICZNA OBSZARU PROJEKTOWANYCH PRAC

Wyżyna Ołkuszka, inaczej zwana Płaskowyżem Ojcowskim, jest zbudowana z wapieni jurajskich, które lokalnie występują na powierzchni terenu, miejscami są przykryte osadami czwartorzędowymi – głównie lessami.

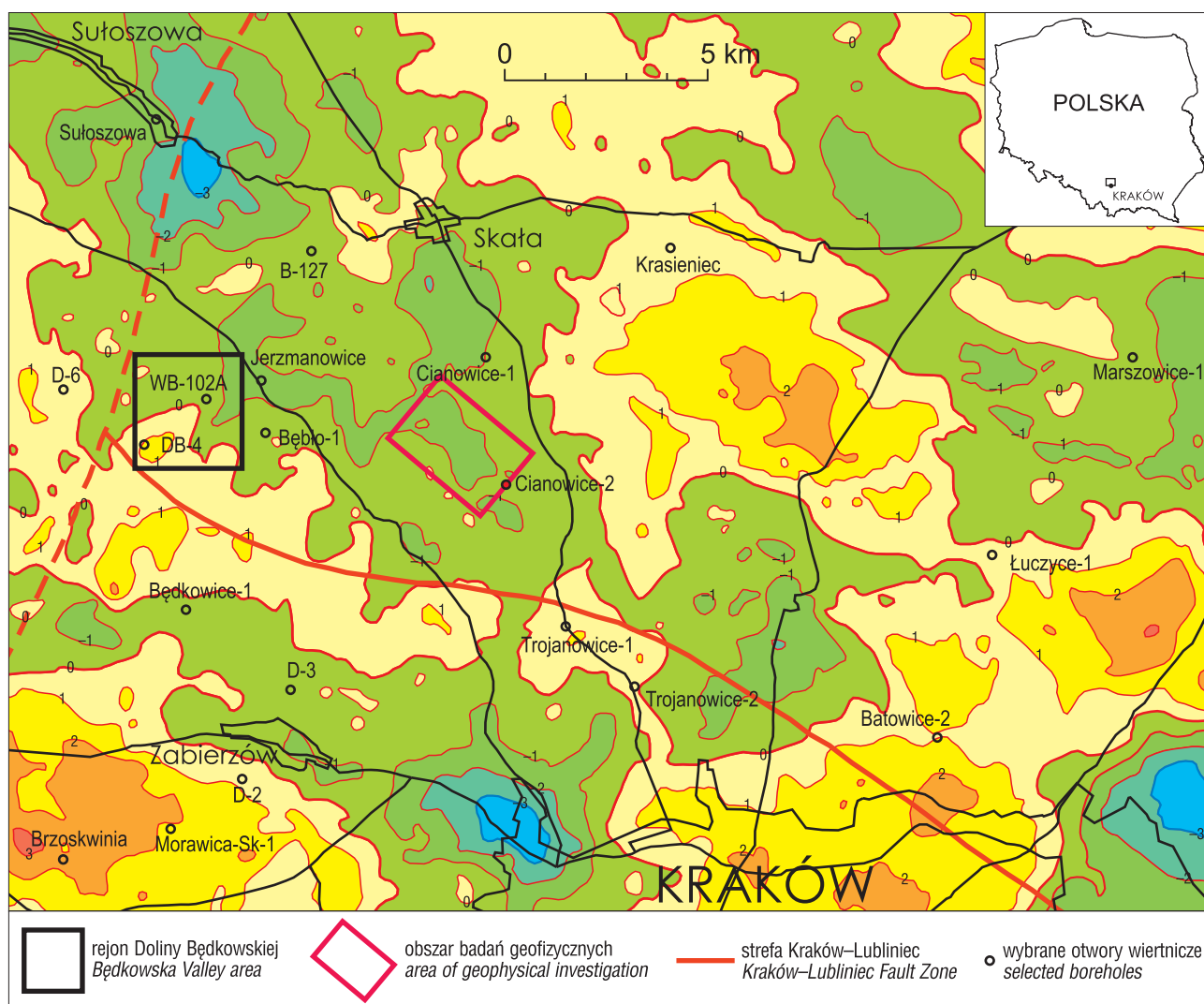
Obszar badań jest lekko falisty, utworzony wskutek długotrwałej denudacji, często pocięty głębokimi dolinami o skalistych zboczach oraz wązozami. Zlokalizowany jest w zachodniej, krawędziorowej części bloku małopolskiego, w sąsiedztwie strefy uskoku Kraków–Lubliniec, oddzielającej blok górnośląski od bloku małopolskiego (ryc. 3).

W budowie geologicznej wspomnianej części bloku małopolskiego można wyróżnić kilka pięter strukturalnych (m.in. Buła, Jachowicz, 1996; Buła, 2000; Buła i in., 2002; Buła i in., 2008, Buła, Habryn, 2010):

- późnoproterozoiczne – ediakarskie – słabo zmetamorfizowane skały klastyczne;
- ordowicko-sylurskie – w przedmiotowym obszarze występują jedynie górnosylurskie skały klastyczne;
- górnopaleozoiczne – dewońsko-karbońskie skały węglanowe i klastyczne – nie występują;
- mezozoiczne – jurajskie i kredowe skały węglanowe i klastyczne;
- kenozoiczne – klastyczne osady paleogenu i neogenu oraz czwartorzędu.

Syntetyczny profil geologiczny bloku małopolskiego północnych okolic Krakowa obejmuje następujące kompleksy litostratygraficzne:

- **późny proterozoik – ediakar.** Kilkunastokilometry (Malinowski i in., 2005), silnie sfałdowany kompleks bardzo słabo przeobrażonych osadów kla-

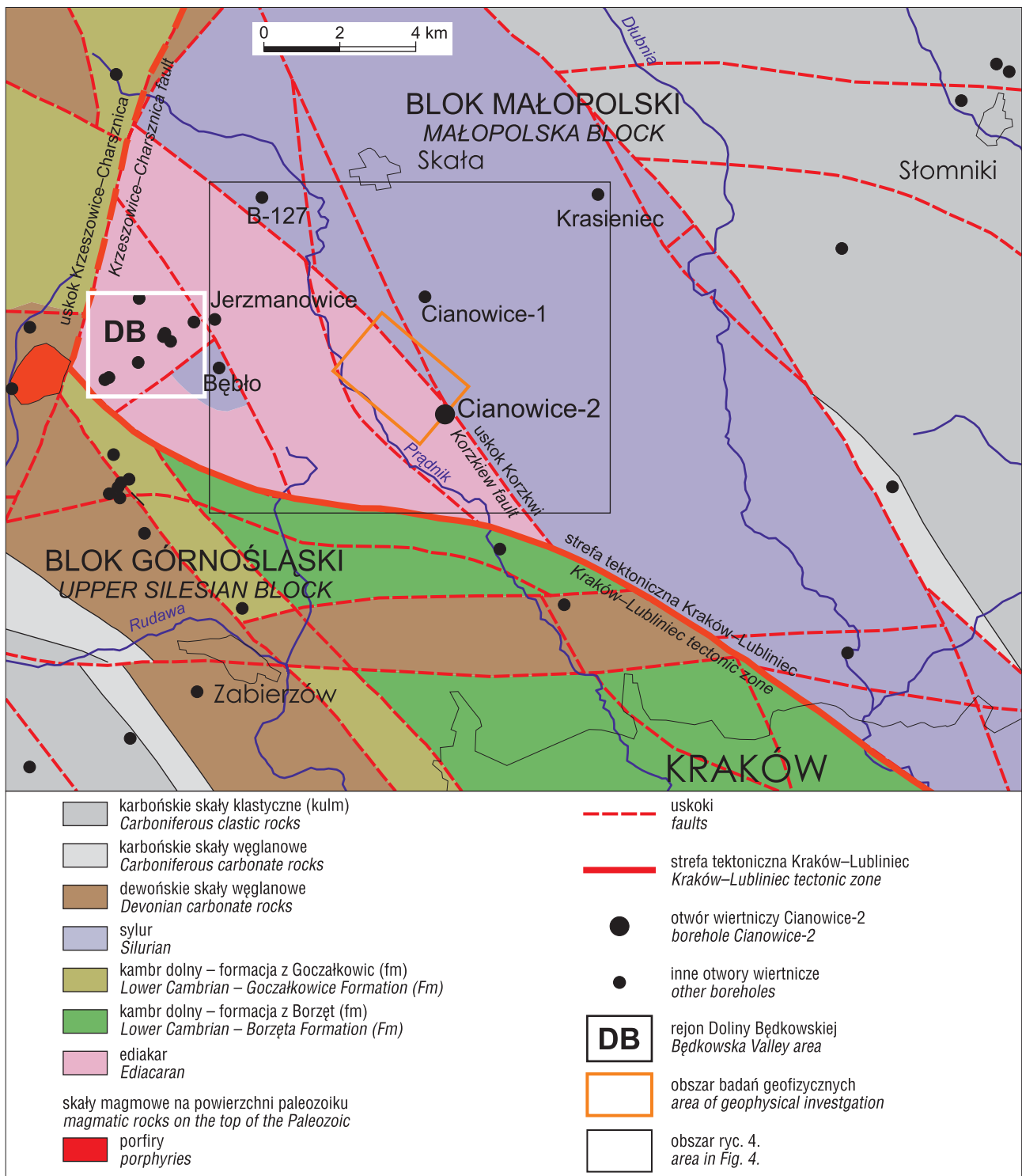


**Ryc. 2.** Mapa gravimetryczna obszaru na NW od Krakowa. Mapa anomalii rezydualnych  $\Delta g$  wg Griffina,  $S = 250$  m,  $R = 5$  km (wg Bachnackiego, Margula i in., 1988); izoliny co 1 mGal

**Fig. 2.** Map of the gravimetric anomalies in the area located NW of Kraków. Map of the residual anomalies  $\Delta g$  by Griffin,  $S = 250$  m,  $R = 5$  km (by Bachnacki, Margul et al., 1988); isolines every 1 mGal

stycznych (późna diagenetyka, lokalnie z przejściem do anchimetamorfizmu). Podmezozoiczne wychodnie osadów ediakaru zachodniej, krawędziowej części bloku małopolskiego na odcinku krakowskim rozpoznano wiertniczo pomiędzy strefą tektoniczną Kraków-Lubliniec, uskokiem przesuwczym Krzeszowice-Charsznica i uskokiem Korzkwi (ryc. 3, 4). Na omawianym obszarze do tego kompleksu zaliczono nieudokumentowane stratygraficznie, kontaktowo zmienione skały klastyczne o barwach generalnie szarych i czarnych, lokalnie czerwono-brązowych i szarozielonych z rejonu Doliny Będkowskiej oraz nawiercone otworem Cianowice-2 czerwono-brązowe, brązowe lub szarozielone osady drobnoklastyczne udokumentowane stratygraficznie (Jachowicz-Zdanowska, 2014). Utwory ediakaru rozpoznane otworem Cianowice-2 w porównaniu do osadów z Doliny Będkowskiej, które są rozcięte apofizami skał magmowych wieku późnowaryscyjskiego są znacznie słabiej przeobrażone (późna diagenetyka z przejawami procesów hydrotermalnych).

- **sylur górny.** Utwory nieudokumentowane, należące do **formacji z Łapczyca (fm)** (Buła, 2000). W przedmiotowym obszarze cząstkowy profil tej formacji rozpoznany został kilkoma płytkimi otworami. Pozycja stratygraficzna i geneza skał piaszczysto-zlepieńcowych występujących pod utworami jury w szeregu okolicznych otworów dotychczas nie została udokumentowana. Buła (2000) na podstawie badań litostratygraficznych wydzielił je w randze formacji (formacja z Łapczyca (fm)), określając wiek tych utworów na górnosylurski. Profil tej jednostki litostratygraficznej tworzą zlepieńce, przeważnie drobno- i średniookruchowe, często przechodzące w żwirowce piaszczyste i piaskowce o zróżnicowanym uziarnieniu, rzadko mułowce piaszczyste i mułowce. Cechą charakterystyczną jest zmienny udział ww. poszczególnych rodzajów skał w profilach wierceń. Miąższość zachowanych pod jurą profili formacji z Łapczyca (fm) sięga ponad 360 m (otwór B-127).
- **jura dolna.** Nawiercony w otworze Cianowice-2 pakiet szarych i szarozielonych zlepieńców, piaskowców i mułowców z podrzędnymi wkładkami syde-



**Ryc. 3.** Mapa geologiczna okolic Krakowa, bez skał mezozoicznych i młodszych (wg Buły i in., 2008; zmodyfikowana)  
**Fig. 3.** Geological map of the Kraków area; without Mesozoic and younger formations (after Buła et al., 2008; modified)

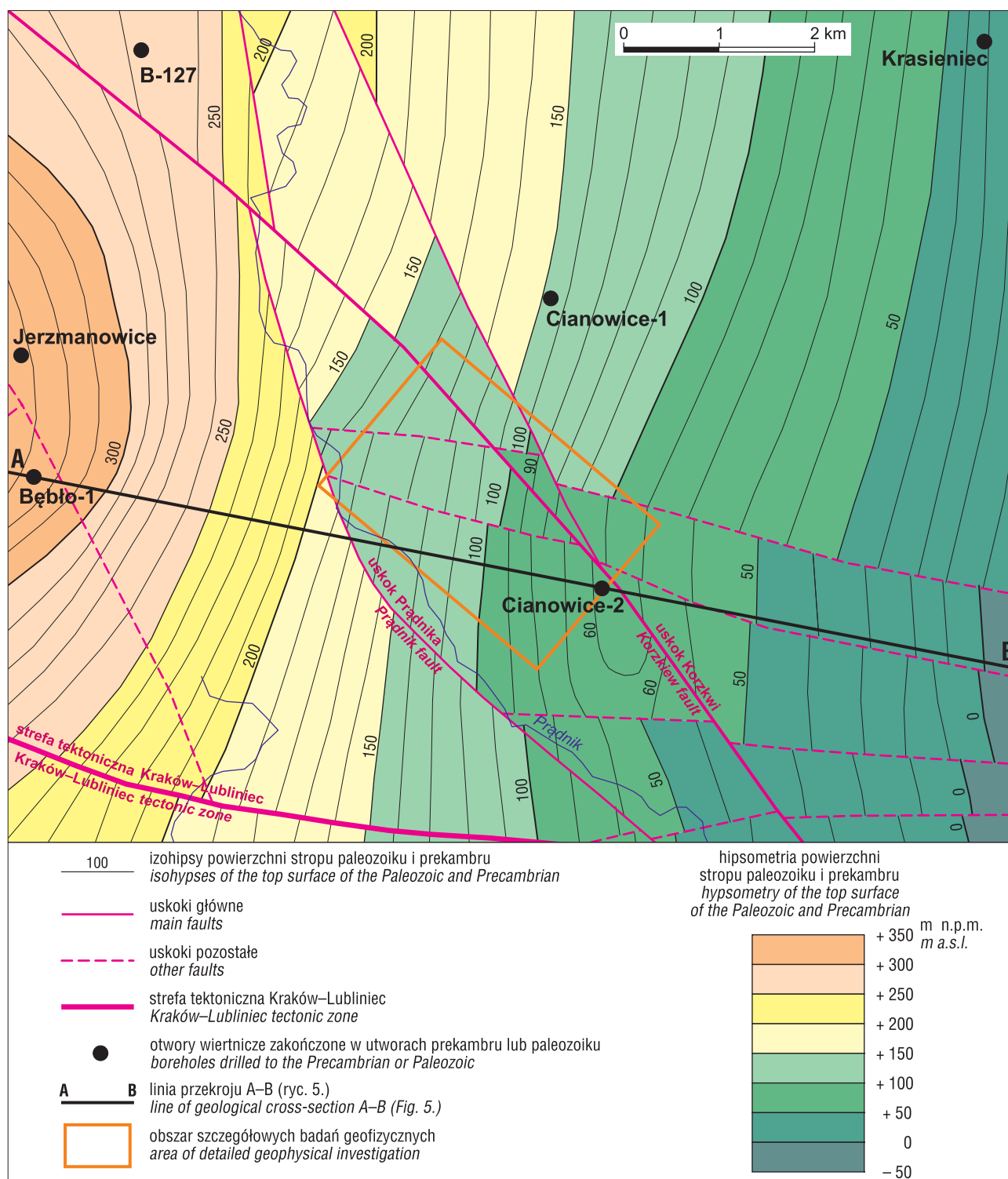
rytów i węgla, miąższości nieco ponad 20 m, zalega na utworach ediakaru, a pod piaszczysto-węglanowymi utworami morskimi keloweju. Reprezentuje on zatem jurę starszą od keloweju, dolną lub środkową (baton?), albo zarówno dolną, jak i środkową (Pieńkowski, 2014).

□ **jura środkowa.** Reprezentowana przez ropy, mułowce i piaskowce batonu oraz piaski i piaskowce (lokalnie ze zlepnięciami) keloweju. Utwory te, najczęściej o niewielkiej, kilkumetrowej miąższości (max. do 40 m) zwykle zalegają płatami na podme-

zozoicznej powierzchni erozyjnej. W otworze Cianowice-2 miąższość tych transgresywnych osadów wynosi 10 m.

□ **jura górna.** Jest reprezentowana przez osady węglanowe oksfordu, w rejonie rowu Słomnik przykryte marglami kimerydu. Górnojurajskie utwory w omawianej części bloku małopolskiego osiągają miąższość od kilkunastu metrów (w rejonie Doliny Będkowskiej) do kilkuset metrów (387 m w rejonie rowu Słomnik).





Ryc. 4. Mapa strukturalna spągu jury w rejonie badań  
Fig. 4. Structural map of the base of the Jurassic complex in the study area

□ **kreda górna.** Reprezentowana przez piaski i zlepińce cenomanu, wapień, margle turonu oraz margle santonu i kampanu. Utwory te nie występują w zachodniej krawędziowej części bloku małopolskiego (rejon Doliny Będzowskiej). Na omawianym obszarze występują lokalnie w strukturach depresyjnych (np. otwór Cianowice-1). Zwartą pokrywą tworzą na wschód od doliny Dłubni (Niecka Miechowska). Ich miąższość rośnie w kierunku wschodnim – do kilkudziesięciu metrów.

□ **paleogen i neogen.** Występują jedynie lokalnie. Wykształcone są w dwóch facjach. Pierwszą, rozwiniętą głównie na wapieniach jurajskich i w lejach krasowych, reprezentują rumosze krzemienne. Drugą, utworzoną na osadach kredowych i w formach krasowych, stanowią piaski i iły.

□ **czwartorzęd.** Osady czwartorzędowe, głównie lessy oraz piaski i gliny deluwialne o łącznej miąższości do kilkunastu metrów, leżą na powierzchni erozyjnej rozwiniętej na osadach o różnej genezie od jury do

neogenu. W dolinach rzecznych występują osady piaszczyste i mady.

Na obszarze, dla którego sporządzono mapę strukturalną spągu jury (93 km<sup>2</sup>) (ryc. 4), podłoże podmezozoiczne rozpoznano 6 otworami: Bębło-1 (gł. 500,5 m), Jerzmanowice (gł. 170 m), B-127 (Wola Kalinowska) (gł. 544,4 m), Krasieniec (gł. 335 m), Cianowice-1 (gł. 250,5 m) i Cianowice-2 (gł. 600 m). We wszystkich tych otworach pod utworami jury nawiercono skały klastyczne. Uzyskane profile paleozoiku i/lub prekambry mają miąższość pozorną od 23,5 m w Cianowicach-1, 23,6 m (Jerzmanowice), 43,7 m (Krasieniec), 334,7 m (Cianowice-2), 362,3 m (B-127) do 373,7 m w otworze Bębło-1. Na zachodzie obszar ten graniczy z lepiej wiertniczo rozpoznany rejonem Doliny Będzkiej.

Ze względu na brak (poza otworem Cianowice-2) datowań stratygraficznych utworów podjurajskich, nawierconych zaledwie kilkoma otworami, dotychczasowe interpretacje kartograficzne są oparte głównie na analizie porównawczej cech litologicznych przewierconych kompleksów skalnych. Wynikają stąd odmienne modele budowy geologicznej przedmiotowego obszaru sporządzane w przeszłości przez różnych autorów. Autorzy niniejszej pracy opierają się na modelu przedstawionym w atlasie geologicznym z 2008 r. (Buła i in., 2008). Pogłębiona analiza istniejących materiałów pozwoliła dokonać pewnej korekty obrazu kartograficznego z ww. opracowania. Polega ona na zwiększeniu zasięgu podmezozoicznej wychodni

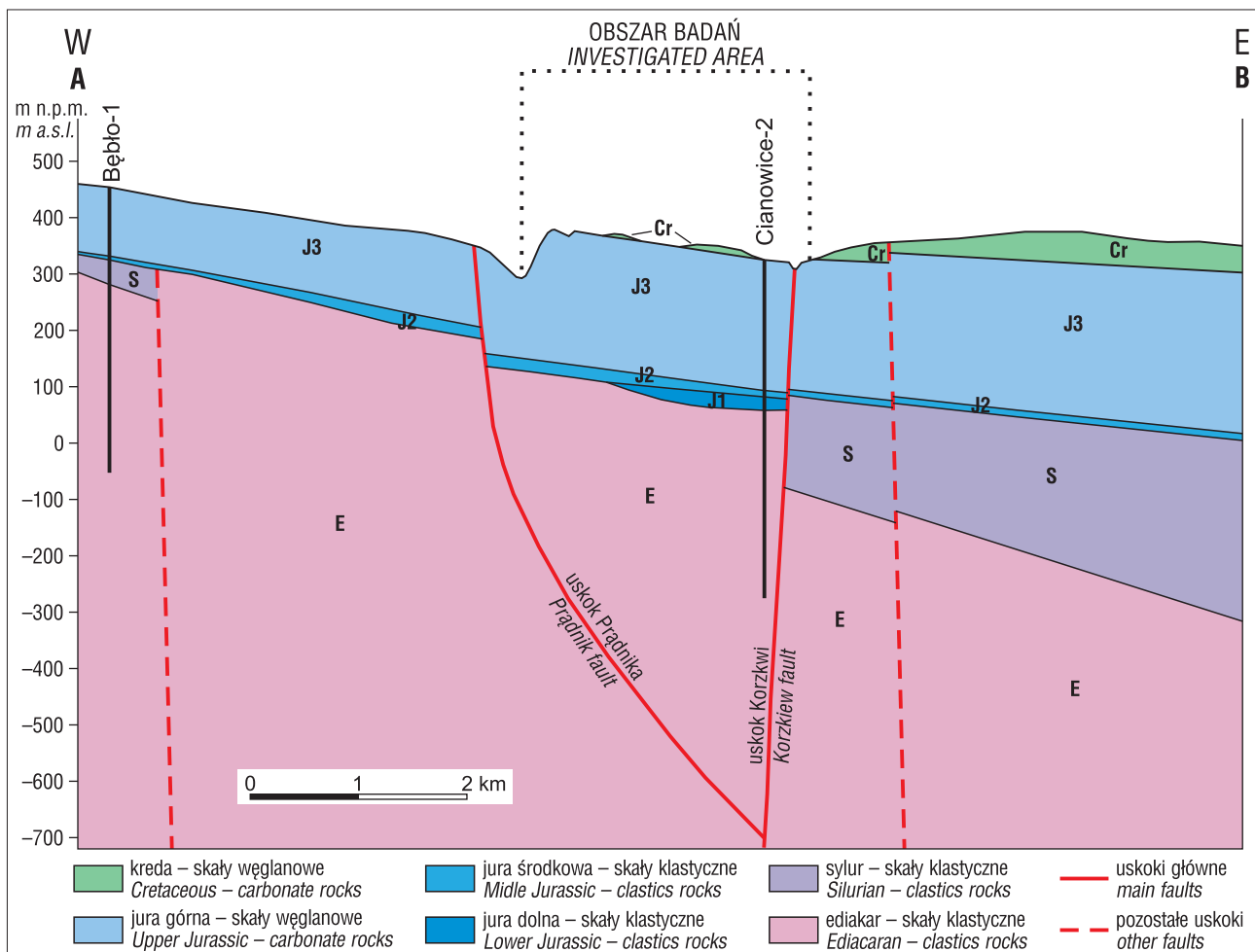
utworów ediakaru kosztem syluru, przy czym w otworze Bębło-1 sylur zalega w formie niewielkiego płata na ediakarze, a osady nawiercone otworem Jerzmanowice zaliczono w całości do ediakaru. Zmiany nastąpiły również w przebiegu uskoku. Nowy, uszczegółowiony model został przedstawiony na rycinie 3 i 4.

Na podstawie wyników uzyskanych w wymienionych otworach wiertniczych i danych ze *Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1 : 50 000* (SMGP) (Płonczyński, 2000) sporządzono mapę geologiczno-strukturalną spągu jury z uwzględnieniem szeregu przypuszczalnych uskoku różnej rangi (ryc. 4).

Kolejnym etapem było wykonanie przekroju geologicznego A–B (ryc. 5), biegnącego mniej więcej ze wschodu na zachód przez otwory Cianowice-2 i Bębło-1, w tym przez obszar objęty badaniami. Na przekroju nie uwzględniono jedynie osadów czwartorzędowych (ze względu na generalnie ich niewielką miąższość – od 2,0 m w Jerzmanowicach do 10,7 m w Bębło-1; w otworze Cianowice-2 miąższość czwartorzędowych wynosi 5,3 m). Na badanym obszarze niewielka jest również miąższość osadów kredy, zalegających jedynie lokalnie w formie płatów.

## METODYKA BADAŃ

Badania gravimetryczne i magnetyczne na omawianym terenie były prowadzone z przerwami od początku lat 70., w ramach kilku tematów badawczych (Reczek, 1973;



Ryc. 5. Przekrój geologiczny A–B (z ryc. 4) przez rejon Cianowic  
Fig. 5. Geological cross-section A–B (in Fig. 4) through the Cianowice area

Okulus in., 1979). Efektem tych prac było opracowanie półszczegółowego zdjęcia grawimetrycznego i magnetycznego o zagęszczeniu ok. 4–6 pkt/km<sup>2</sup>. Dane te są wykorzystywane głównie do interpretacji jakościowej i ilościowej w ujęciu regionalnym, głównie pod kątem poszukiwania i rozpoznania złóż surowców skalnych, jednak nie są wystarczające podczas rozwiązywania lokalnych problemów geologicznych, strukturalnych i tektonicznych. Zaprojektowane nowe szczegółowe zdjęcie grawimetryczne i magnetyczne zostało wykonane w celu zobrazowania zmienności litologicznej osadów zalegających do głębokości kilkuset metrów, w tym wyznaczenia lokalnych stref tektonicznych, stref przeobrażeń kontaktowych (które często charakteryzują się podwyższoną zawartością magnetytu) oraz stref różnicowania gęstościowego pod kątem wskazania źródeł anomalii, które mogą być tożsame z występowaniem intruzji granitoidowej.

Na powierzchni ok. 6 km<sup>2</sup> założono 821 stanowisk grawimetrycznych w siatce 100 × 100 m oraz wykonano 3500 pomiarów modułu całkowitego natężenia pola magnetycznego w profilach oddalonych względem siebie o 100 m z zastosowaniem 20 m kroku pomiarowego. Geofizyczne prace polowe przeprowadzono przy użyciu przyrządów pomiarowych firmy Scintrex Ltd, grawimetru CG-5 i magnetometrów ENVIMAG.

W celu sporządzenia szczegółowych map grawimetrycznych konieczne było określenie średnich gęstości objętościowych skał wyróżnionych formacji skalnych. Niestety zakres badań petrofizycznych na rdzeniach starych otworów był bardzo mały. Gęstości te przyjęto częściowo na podstawie wyników badań laboratoryjnych próbek rdzeni i zapisów krzywych geofizycznych zarejestrowanych w otworze Cianowice-2. Jak już wspomniano, w otworze tym pod wpływem roztworów hydrotermalnych lokalnie zachodzi zmiana składu mineralnego skał – średnia gęstość pierwotnych, czerwono-brązowych skał wynosi 2,65 g/cm<sup>3</sup>, a zmienionych skał o szarozielonym zabarwieniu 2,68 g/cm<sup>3</sup>. Pozostałe wartości gęstości uzyskano na podstawie badań na obszarach o zbliżonej budowie geologicznej, w otworach nawierczających granitoidy oraz skały ediakarskie z charakterystyczną strefowością przeobrażeń. Wartości dla skał magmowych uzyskano z otworów Pz-17 i Pz-28 (rejon Myszkowa), dla skał strefy 2 z otworów Pz-28, RK-1 i RK-5 (rejon Myszkowa i Zawiercia), dla strefy 1 z otworów Cianowice-2 oraz 50-WB, RK-4 (rejon Myszkowa, Zawiercia), a dla strefy 0 z otworów Cianowice-2 oraz RK-4 (rejon Zawiercia). Korzystano również z danych zebranych w ramach: *Atlasu grawimetrycznego Polski* (Królikowski, Petecki, 1995) i *Opracowania modelu rozkładu gęstości głównych jednostek geologicznych kraju* (Rosowiecka i in., 2011). Przeciętne gęstości dla skał magmowych i skał osłony metamorficznej przedstawiono na rycinie 1.

Przyjęto następujące wartości gęstości objętościowych:

- kreda (skały węglanowe) 2,25 g/cm<sup>3</sup>,
- jura górna (węglanowa) 2,5 g/cm<sup>3</sup>,
- jura środkowa i dolna (osady klastyczne) 2,25 g/cm<sup>3</sup>,
- sylur (formacja z Łapczycy) 2,63 g/cm<sup>3</sup>,
- ediakar (skały drobnoklastyczne, niezmienione) 2,65 g/cm<sup>3</sup>,
- skały magmowe 2,63 g/cm<sup>3</sup>.

W rozważaniach dotyczących parametrów gęstościowych skał istotnym elementem jest zawartość minerałów kruszczo-

wych. Należy przyjąć, że obecność rozproszonych kruszców w skale na poziomie 1% podnosi gęstość o 0,02 g/cm<sup>3</sup> (Markowiak i in., 2017). O ile w złożach pokładowych o niewielkich miąższościach nie ma to większego wpływu na powierzchniowy obraz pól potencjalnych, o tyle w złożach typu porfirowego ciało rudne o miąższości kilkuset metrów może być źródłem lokalnej dodatniej anomalii grawimetrycznej.

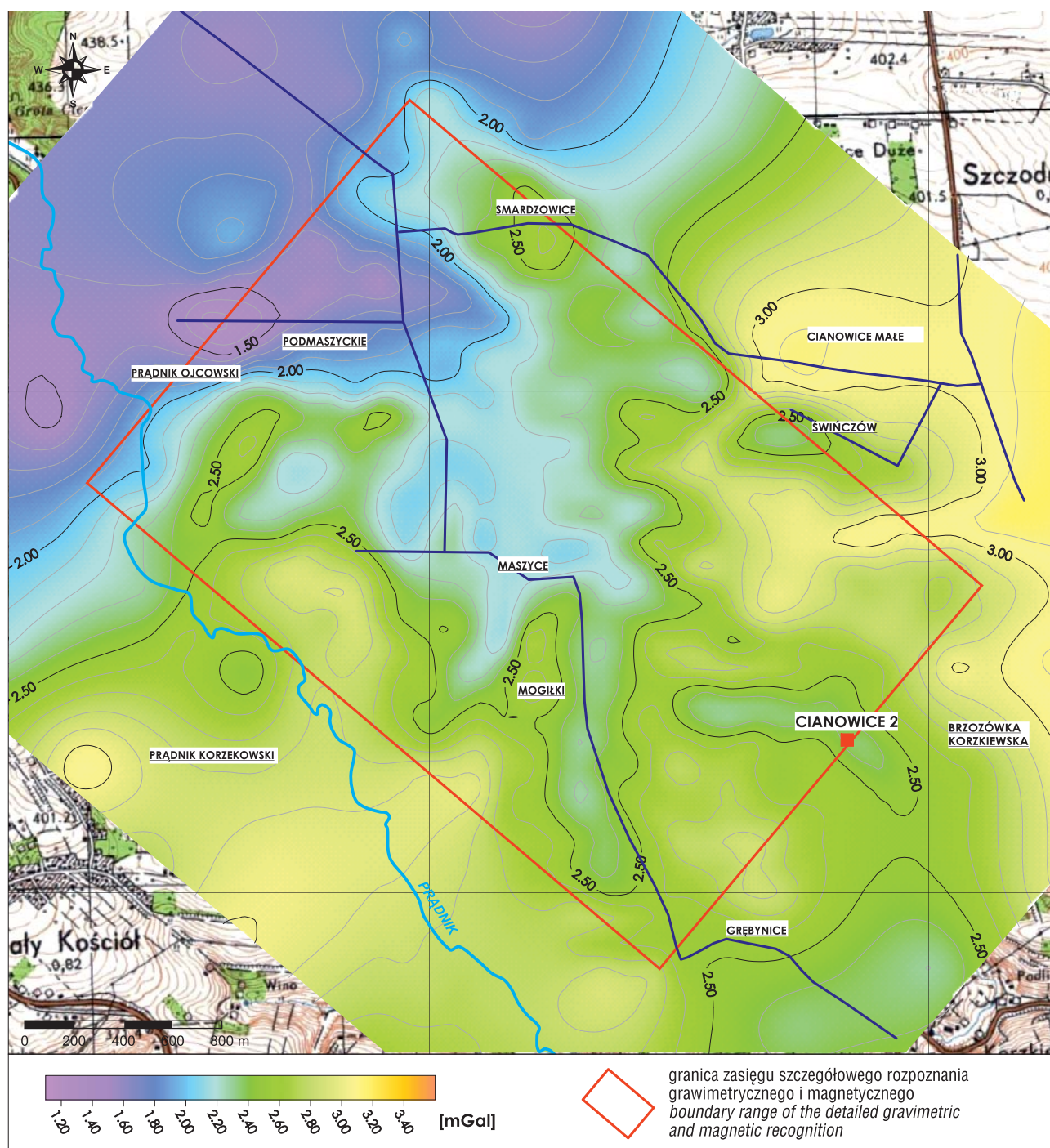
## PRZETWARZANIE I INTERPRETACJA DANYCH GRAWIMETRYCZNYCH

Dla każdego grawimetrycznego stanowiska pomiarowego obliczono wartości anomalii siły ciężkości w redukcji Bouguera (Fajklewicz, 2007) z zastosowaniem międzynarodowego systemu IGSN-71. Pole normalne zostało określone wg formuły GRS-80 (ang. *Geodetic Reference System '80*) w odniesieniu do powierzchni elipsoidy, a poprawkę topograficzną siły ciężkości obliczono w przedziałach do 20 km. Poprawkę Bouguera wyliczono dla gęstości zmiennej wyinterpolowanej z opracowanego rozkładu gęstości, który został wyznaczony na podstawie dostępnych materiałów archiwalnych obejmujących m.in. litologię utworów w warstwie przypowierzchniowej, ich zasięg powierzchniowy oraz zróżnicowanie w pionie, jak również gęstości objętościowe kolejnych wydzieleni.

W ramach przetwarzania sporządzono mapę anomalii Bouguera (ryc. 6). Transformację mapy anomalii Bouguera wykonano dla gęstości zmiennej, uzyskując rozkład anomalii rezydualnych siły ciężkości. Wykorzystano filtrację częstotliwościową opartą na transformacji Fouriera, stosując filtr 2D FFT BTWR (Butterworth Filter), poprzez przyjęcie odpowiedniej długości fali  $\lambda$ , traktowanej jako parametr filtracji. Transformację Fouriera stosuje się w celu zminimalizowania efektów regionalnych (podłoże głębokie), a tym samym uwydatnienia efektów pochodzących od utworów warstwy przypowierzchniowej (anomalie rezydualne), tym samym powoduje to rozdzielenie anomalii regionalnych od anomalii rezydualnych. Anomalie rezydualne są wywołane przez kompleks usytuowany między poziomem odniesienia i założonym poziomem rozpoznania (Ostrowski i in., 2013). Przekształcenia dobrano tak, aby uzyskany efekt grawitacyjny pochodził (teoretycznie) od utworów zalegających w przedziałach głębokości do 500 m i 1000 m.

W uzyskanym obrazie anomalii siły ciężkości w redukcji Bouguera (ryc. 6), który jest odzwierciedleniem oddziaływania wszystkich mas skalnych zalegających poniżej powierzchni pomiarowej, w centralnej części analizowanego obszaru zaznacza się wyraźna ujemna forma anomalna, będąca przedłużeniem większej formy występującej na północny zachód od granicy opracowania. Główna anomalia posiada wydłużony kształt i zmienną szerokość, z osią biegnącą w kierunku NW–SE. Na całym obszarze badań wartości anomalii zmieniają się w stosunkowo dużym zakresie. Najniższe wartości wynoszące ok. 1,5 mGal stwierdzono w północno zachodniej i centralnej części obszaru prac w okolicach przysiółka Podmaszyckie, a największe w południowym narożniku (dolina Prądnika), wynoszące ok. 2,8 mGal, i we wschodnim narożniku obszaru badań (na południe od wsi Świńczów) – 3,0 mGal. Na mapie są również widoczne liczne dodatnie i ujemne formy anomalne o niewielkich zasięgach powierzchniowych, zmiennym





Ryc. 6. Mapa anomalii siły ciężkości w redukcji Bouguera ( $\Delta g_B$ ) dla gęstości warstwy redukcyjnej zmiennej  
 Fig. 6. The map of the gravity anomaly in the Bouguer reduction ( $\Delta g_B$ ) for the density of the variable reduction layer

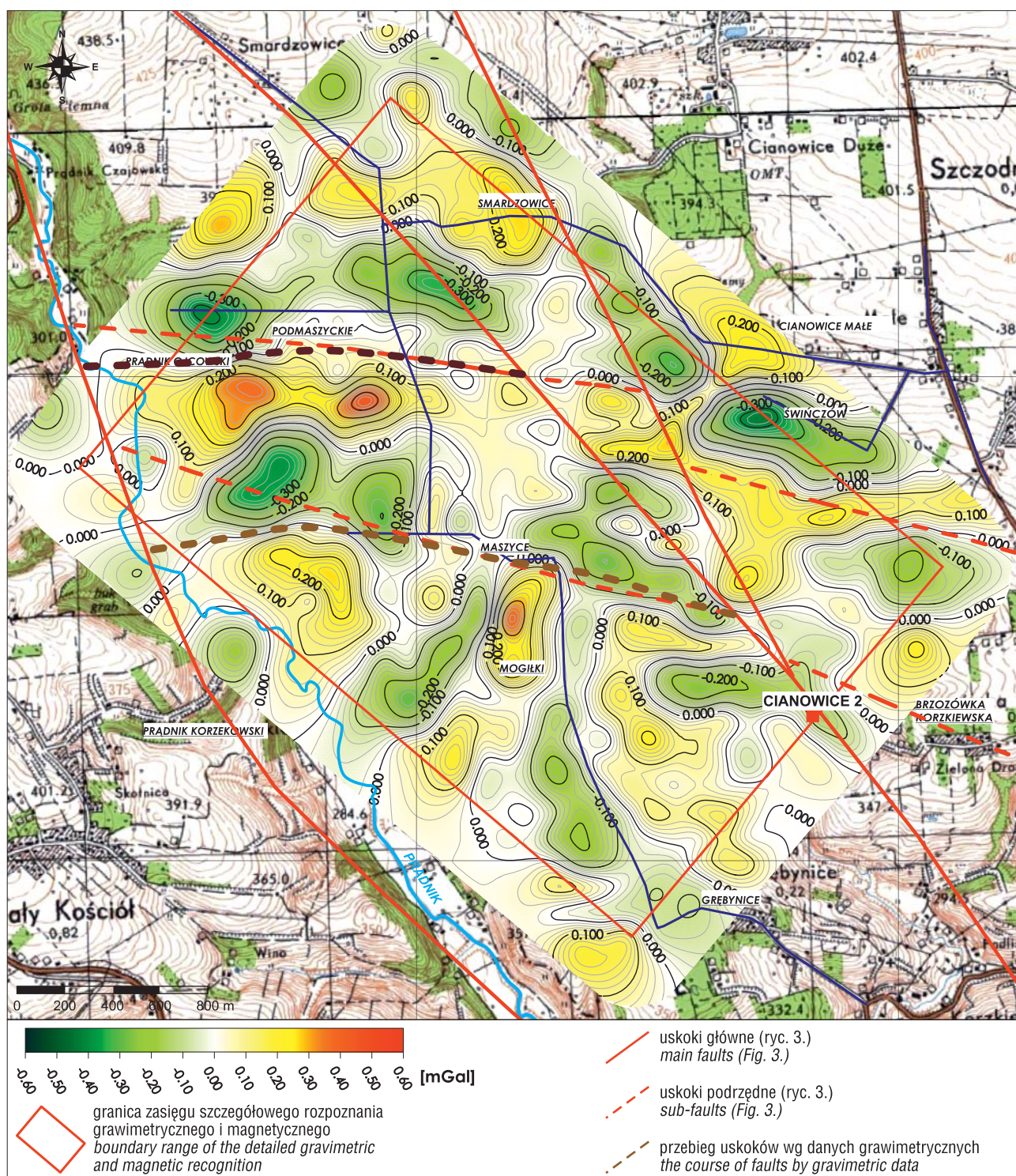
kształcie, charakteryzujące się niewielkimi amplitudami. Taki rozkład siły ciężkości na mapie wynika niewątpliwie ze zmiennej gęstości objętościowej występujących na obszarze prac utworów skalnych.

W celu rozpoznania warstw nadległych nad poszukiwaną intruzją granitoidową opracowano mapy anomalii rezydualnych  $\Delta g$ , przy użyciu filtra górnoprzepustowego BTWR, przyjmując graniczną długość fali  $l_g = 1000$  m (ryc. 7). Uzyskany dla tego przedziału głębokościowego obraz anomalii jest mocno zróżnicowany. Można w nim wyróżnić dwa ciągi anomalii ujemnych o rozciągłości mniej więcej zachód-wschód. Pierwsza ciągnie się od miejscowości Pradnik Ojcowski przez Podmaszyckie aż do Świńczowa,

z minimami w okolicach Pradnika Ojcowskiego i Świńczowa. Drugi ciąg anomalii biegnie od miejscowości Maszyce na zachodzie do otworu Cianowice-2 na wschodzie. Ciąg tych anomalii jest mniej wyraźny i o mniejszych amplitudach, z trzema minimami – dwa w okolicach wsi Maszyce i trzecie na zachód od otworu Cianowice-2. Amplitudy anomalii w obu pasach nie przekraczają 0,4 mGal. Pomiędzy i na północ od omawianych ciągów anomalii ujemnych są dwa ciągi anomalii dodatnich z maksimami w okolicach Smardzowic i na północny zachód od Maszyc.

Druga założona głębokość prospekcji 0–500/1000 m (ryc. 8) została dobrana tak, aby obejmowała przedział głębokości, w którym spodziewamy się intruzji granitoido-





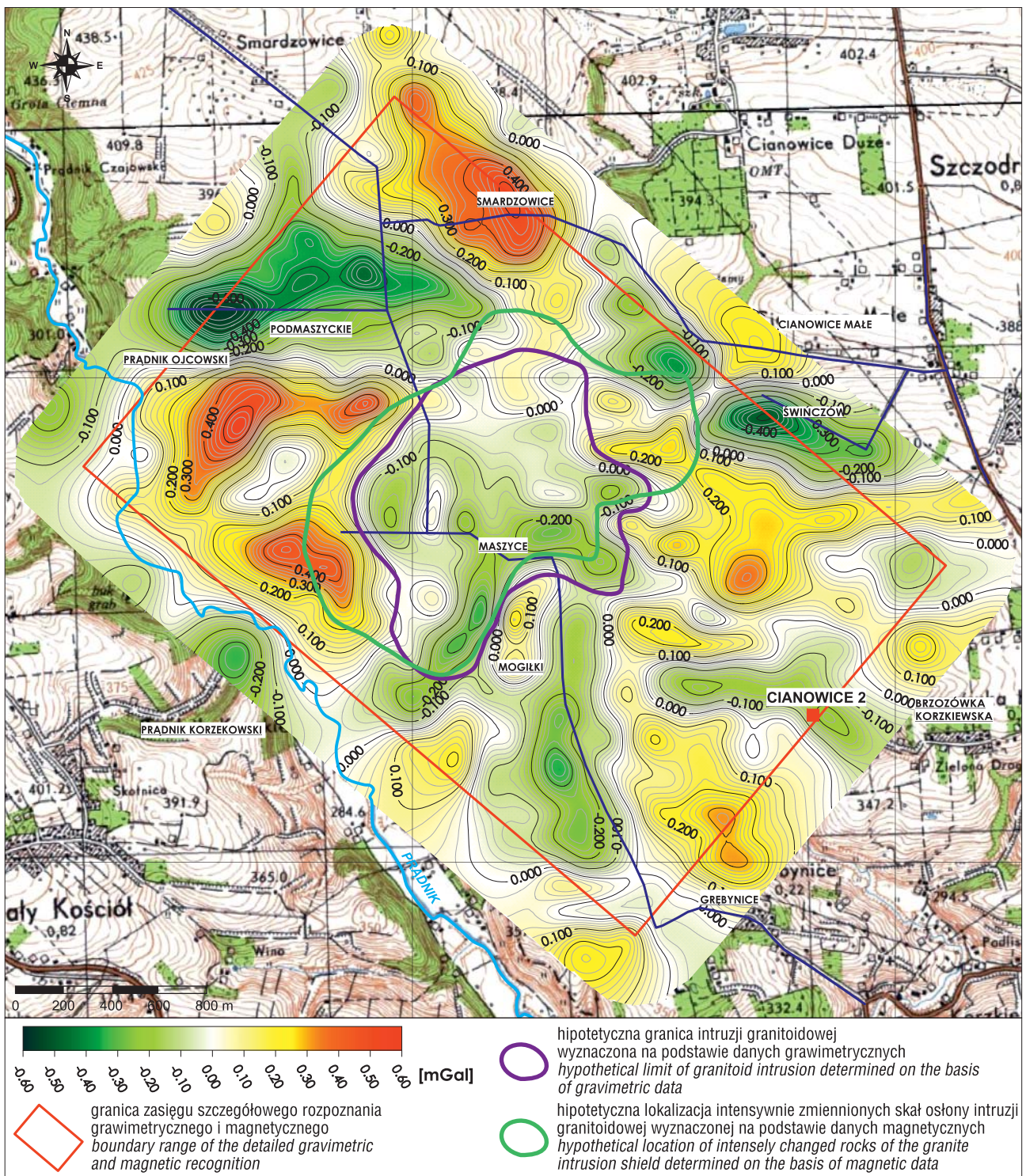
**Ryc. 7.** Mapa grawimetryczna anomalii rezydualnych  $\Delta g$  z zastosowaniem filtra górnoprzepustowego BTWR, graniczna długość fali  $l_g = 1000$  m (orientacyjny zasięg głębokościowy prospekcji 0–250/500 m), z propozycją zmian przebiegu uskoku na podstawie danych grawimetrycznych

**Fig. 7.** Gravimetric map of residual anomalies  $\Delta g$  using the BTWR high-pass filter, limit wavelength  $l_g = 1000$  m (approximate depth range prospecting 0–250/500 m) with a proposal to change the course of faults based on gravimetric data

wej w ediakarze. Obraz anomalii zmienia swój charakter z pasowego, o kierunkach wschód–zachód w warstwach nadległych, do układu o rozciągłości północ–południe. Spodziewana intruzja granitoidowa ma mniejsze gęstości w stosunku do otaczających ją przeobrażonych skał ediakaru, w związku z czym w obrazie grawimetrycznym będzie dawać anomalie ujemne.

Dominującym elementem obrazu grawimetrycznego pochodzącego od utworów z głębokości prospekcji 0–500/1000 m jest anomalia ujemna w środkowej części obszaru z centrum położonym w okolicach miejscowości Maszyce (ryc. 8). Amplituda wartości anomalii jest niewielka i zamyka się w wartościach od 0,2 do  $-0,3$  mGal. Granice tej formy anomalnej wyznaczają: od zachodu ano-





**Ryc. 8.** Mapa grawimetryczna anomalii rezydualnych  $\Delta g$  z zastosowaniem filtra górnoprzepustowego BTWR, graniczna długość fali  $l_g = 2000$  m (orientacyjny zasięg głębokościowy prospekcji 0–500/1000 m), z zaznaczonymi granicami hipotetycznej intruzji granitoidowej

**Fig. 8.** Gravimetric map of residual anomalies  $\Delta g$  using the BTWR high-pass filter, limit wavelength  $l_g = 2000$  m (approximate range depth prospection 0–500/1000 m) with marked limits of hypothetical granitoid intrusion

malia dodatnia z dwoma kulminacjami – jedna poniżej Prądnika Ojcowskiego i druga na północ od Prądnika Korzekiewskiego, od wschodu anomalia z centrum w okolicach wsi Świnczów oraz druga w okolicach miejscowości Grębynice na południe od otworu Cianowice-2. Omawiana anomalia ujemna łączy się od północy z pasem anomalii ujemnych o rozciągłości wschód–zachód z osią w okoli-

cach przysiółka Podmaszyce. Anomalia ta ma większą amplitudę – ok. 0,5 mGal i kształt wału. Otwór Cianowice-2 leży w obrębie anomalii ujemnych, które łączą się przesmykiem w okolicach wsi Mogiłka z centralną anomalią ujemną.

Obraz anomalii rezydualnych dla tego przedziału głębokościowego sugeruje, że poszukiwana kwaśna intruzja



magmowa może się znajdować w centralnej i północno-zachodniej części obszaru badań i mieć formę rozległej anomalii ujemnej.

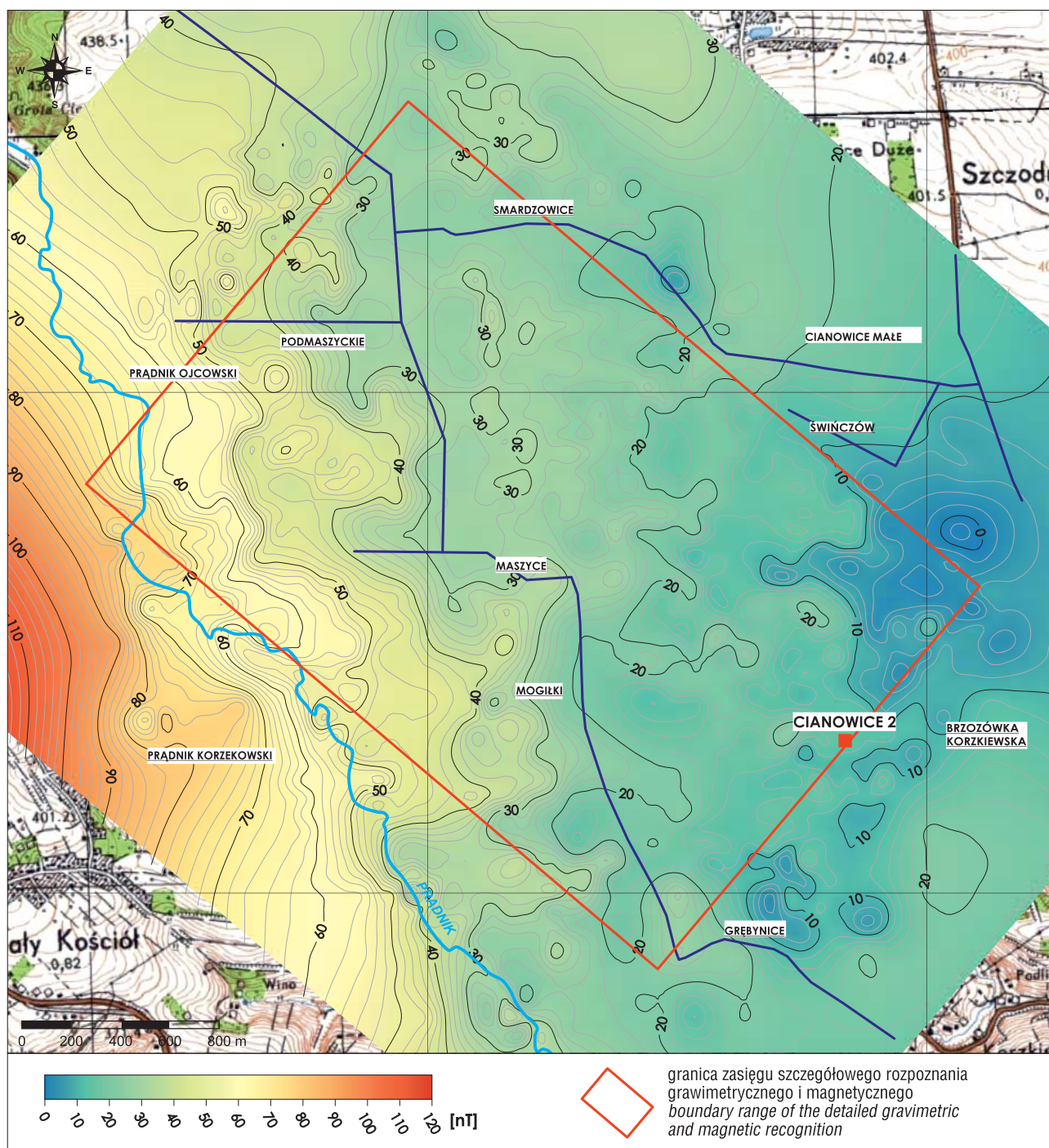
### PRZETWARZANIE I INTERPRETACJA DANYCH MAGNETYCZNYCH

Na podstawie danych uzyskanych z pomiarów terenowych oraz danych archiwalnych udostępnionych przez Narodowe Archiwum Geologiczne Państwowego Instytutu Geologicznego opracowano mapę magnetyczną anomalii wektora całkowitego natężenia pola magnetycznego Ziemi  $T$  (ryc. 9). Założono, że pole normalne zostało wyliczone z zastosowaniem formuły IGRF IV generacji dla epoki

1982,5, z uwzględnieniem poprawki na gradient pionowy  $T$  związany z wysokością stanowisk pomiarowych.

Wartości anomalii zawierają się w przedziale od 4 do 78 nT. Generalnie rosną one ze wschodu na zachód, na większości obszaru jest małe zróżnicowanie anomalii (4–40 nT), jedynie w rejonie zachodniego narożnika widać wyraźny wzrost wartości pola magnetycznego (anomalie Bębła).

Podobnie jak w przypadku danych grawimetrycznych, dane magnetyczne poddano filtracji w celu prześledzenia anomalii odnoszących się do tych samych interwałów głębokościowych, z zastosowaniem tych samych filtrów, wykorzystując oprogramowanie firmy Golden Software – program Surfer, oraz programu Oasis Montaj firmy Geosoft



Ryc. 9. Mapa magnetyczna anomalii wektora całkowitego natężenia pola magnetycznego Ziemi  $T$   
 Fig. 9. Magnetic map of the anomaly of the vector  $T$  of the total Earth magnetic field strength



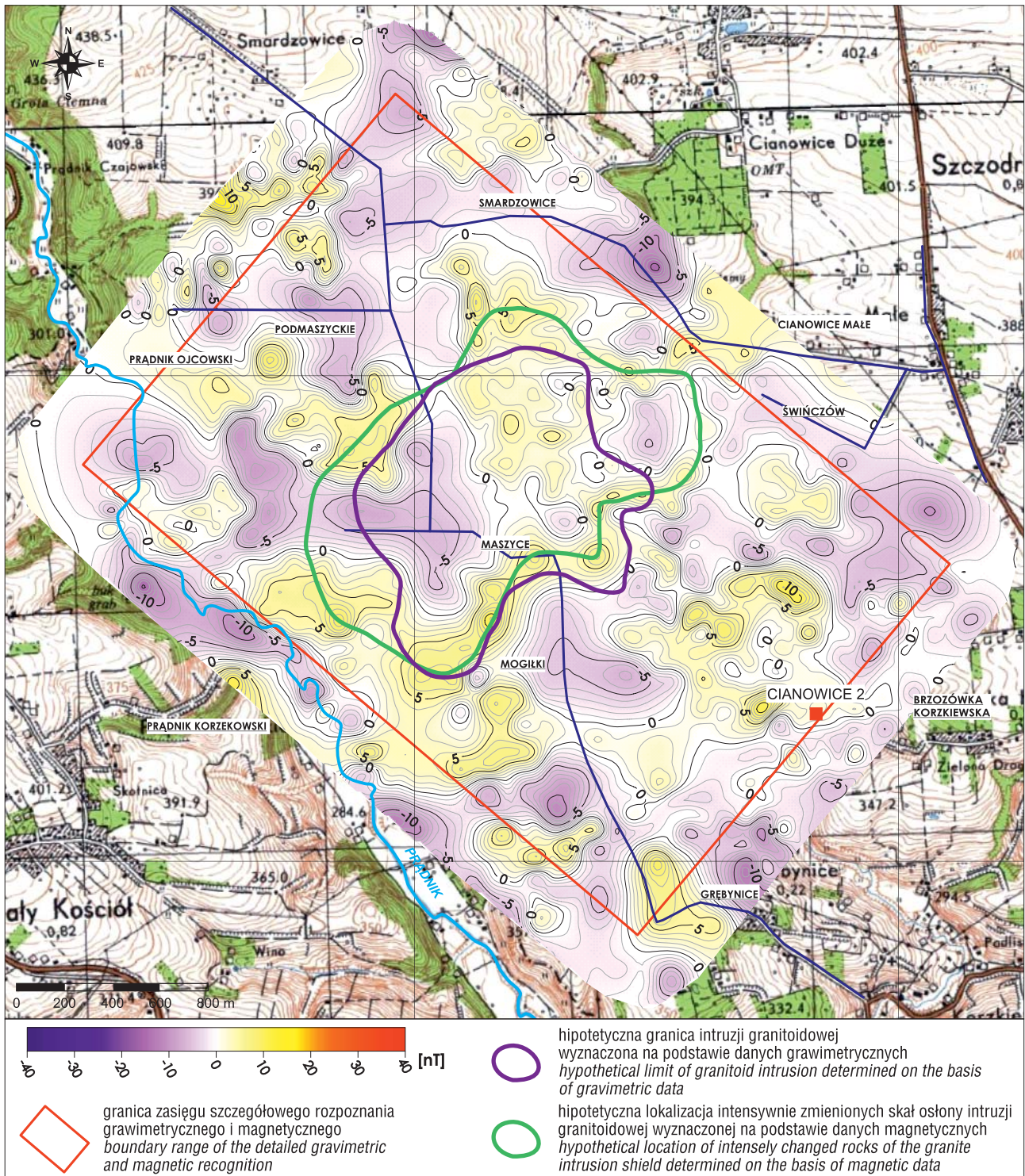
Inc. Anomalie rezydualne wektora całkowitego natężenia pola magnetycznego Ziemi T zostały przedstawione dla głębokości prospekcji 0–500/1000 m (ryc. 10).

Na północny zachód od otworu Cianowice-2 mamy dodatnią anomalię magnetyczną o niewielkiej amplitudzie. W centralnej części obszaru badań w okolicach wsi Maszyce zaznacza się ujemna anomalia otoczona pierścieniem magnetycznych anomalii dodatnich, które mogą mieć

związek ze strefą oddziaływania hipotetycznej intruzji granitoidowej na skały osłony (powstanie hornfelsów biotytowych, lokalnie ze znaczącą zawartością magnezytu).

### WNIOSKI

Przeprowadzone pomiary grawimetryczne, o zagęszczeniu punktów pomiarowych wynoszącym ok. 117 pkt/km<sup>2</sup>,



**Ryc. 10.** Mapa magnetyczna anomalii rezydualnych wektora całkowitego natężenia pola magnetycznego Ziemi T z zastosowaniem filtra górnoprzepustowego BTWR, graniczna długość fali  $l_g = 2000$  m (orientacyjny zasięg głębokościowy prospekcji 0–500/1000 m), z zaznaczonymi granicami hipotetycznej intruzji granitoidowej

**Fig. 10.** Magnetic map of residual anomalies of the vector T of total Earth magnetic field using the BTWR high-pass filter, limit wavelength  $l_g = 2000$  m (approximate range depth prospection 0–500/1000 m) with marked limits of hypothetical granitoid intrusion



pozwołyły na sporządzenie szczegółowych map grawimetrycznych, na których ujawniono ujemną anomalię Maszyc–Prądnika Ojcowskiego (ryc. 6, 8). Za anomalię tę może być odpowiedzialna poszukiwana intruzja granitoidowa, która jest źródłem roztworów hydrotermalnych niosących mineralizację polimetaliczną, jaką obserwowano w otworze Cianowice-2.

Hipotetyczny kontur kwaśnej intruzji magmowej z apikalną częścią występującą w przedziale głębokości –250 m do –500 m n.p.m, uzgodnionej wzdłuż granic ujemnej anomalii, przedstawiono na rycinie 8. Z kolei zielona linia wyznaczona na podstawie maksimów dodatnich rozkładu anomalii magnetycznych (ryc. 10) może obrazować zasięg strefy najintensywniejszych przeobrażeń metamorficznych (metasomatycznych) wokół intruzji granitoidowej (biotytyzacja skał i słaba impregnacja magnetytem).

Uzyskane wyniki nie pozwalają na ich jednoznaczną interpretację. Wydaje się, że dla uzyskania większej pewności interpretacji korzystne byłoby wykonanie szczegółowych pomiarów na większym obszarze. Wybrany i przedyskutowany w niniejszym opracowaniu model budowy geologicznej, z wyznaczeniem lokalizacji potencjalnej intruzji kwaśnych skał magmowych, wymaga weryfikacji otworami wiertniczymi. Na podstawie rozpoznanej otworami Cianowice-2 mineralizacji kruszcowej (Markowiak, 2012, 2014) można stwierdzić, że wykazuje ona cechy wskaźnikowe dla peryferycznej strefy mineralizacji typu porfirowego (Cox, Singer, 1986; Lasoń, 2003) związanej z pobliską intruzją kwaśnych skał magmowych ze strefami bogatej mineralizacji kruszcowej. Według modelu przeobrażeń metasomatycznych wokół intruzji granitoidowych (ryc. 1) intruzja ta powinna się znajdować w odległości ok. 1,5–2,0 km od otworu Cianowice-2, co odpowiada mniej więcej odległości anomalii Maszyc od otworu Cianowice-2. W analogii do złoża Mo-W-Cu Myszków można przyjąć, że najbardziej perspektywicznymi obszarami do poszukiwań złóż rud będą *przełęcz* lub *zatoki* zlokalizowane w obrębie ujemnych anomalii grawimetrycznych, a lokalne ich osłabienie może być spowodowane wpływem podwyższonej zawartości minerałów kruszczowych o dużym ciężarze właściwym.

Proponuje się optymalną lokalizację nowego otworu badawczego w okolicach przysiółka Podmaszyckie, pomiędzy grawimetrycznymi minimami z rejonu Maszyc i Prądnika Ojcowskiego (ryc. 8). Dla osiągnięcia celu powinien to być otwór o głębokości ok. 1000 m.

Autorzy pragną podziękować dr. hab. inż. Michałowi Stefanukowi prof. AGH oraz anonimowemu Recenzentowi za cenne uwagi i wskazówki dotyczące tekstu. Praca została zrealizowana w ramach zadań Państwowej Służby Geologicznej, finansowanych ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

## LITERATURA

BACHNACKI S., MARGUL H. i in. 1988 – REGION GÓRNOŚLĄSKI 1985–1990, zadanie 1: Geofizyczne mapy podstawowe regionu górno-

śląskiego. CPBR nr 1.8, cel nr 43, pkt kontrolny nr 4. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Sosnowiec.  
 BUŁA Z. 2000 – Dolny paleozoik Górnego Śląska i zachodniej Małopolski. Pr. Państw. Inst. Geol., 171.  
 BUŁA Z., JACHOWICZ M. 1996 – The Lower Paleozoic sediments in the Upper Silesian Block. Kwart. Geol., 40 (3): 299–336.  
 BUŁA Z. (red.), HABRYN R., KRIEGER W., KUREK S., MARKOWIAK M., WOŹNIAK P. 2002 – Atlas geologiczny paleozoiku bez permu w strefie kontaktu bloków górnośląskiego i małopolskiego. Państw. Inst. Geol., Warszawa.  
 BUŁA Z., HABRYN R. (red.) BUŁA Z., BYŚ I., FLOREK R., HABRYN R., JACHOWICZ M., KWARCINIŃSKI J., LASKOWICZ R., LISZKA B., MADEJ K., MAKSYM A., MARKOWIAK M., PIETRUSIAK M., PROBULSKI J., RYŁKO W., SALWA S., SIKORA R., STARYSZAK G., TABOL-WÓJCIK P., TOMAŚ A., ZACHARSKI J. 2008 – Atlas geologiczno-strukturalny paleozoicznego podłoża Karpat zewnętrznych i zapadliska przedkarpackiego. Państw. Inst. Geol. Warszawa.  
 BUŁA Z., HABRYN R. 2010 – Budowa geologiczna prekambriu i paleozoiku regionu krakowskiego. [W:] Jachowicz-Zdanowska M., Buła Z. (red.), Prekambri i paleozoik regionu krakowskiego. Mat. konf.: 7–39.  
 COX D.P., SINGER D.A. 1986 – Mineral Deposit Models. U.S. Geological Survey Bulletin, 1693: 73–122.  
 FAJKLEWICZ Z. 2007 – Grawimetria stosowana. Wydawnictwo AGH, Kraków.  
 HABRYN R., BUŁA Z., NAWROCKI J. 2014 – Strefa tektoniczna Kraków–Lubliniec na odcinku krakowskim w świetle danych uzyskanych z nowych otworów badawczych Trojanowice 2 i Cianowice 2. Biul. Państw. Inst. Geol., 459: 45–60.  
 JACHOWICZ-ZDANOWSKA M. 2014 – Mikroskamieniałości organiczne terenu (kambry dolny) i późnego ediakaru (neoproterozoik) okolic Krakowa. Biul. Państw. Inst. Geol., 459: 61–82.  
 KRÓLIKOWSKI C., PETECKI Z. 1995 – Atlas grawimetryczny Polski. Państw. Inst. Geol., Warszawa.  
 LASOŃ K. 2003 – Geochemia molibdenowo-wolframowego złoża porfirowego Myszków. Biul. Państw. Inst. Geol., 405: 87–108.  
 MALINOWSKI M., ŻELAŻNIEWICZ A., GRAD M., GUTERCH A.I., JANIK T. 2005 – Seismic and geological structure of the crust in the transition from Baltica to Paleozoic Europe in SE Poland – CELEBRATION 2000 experiment, profile CEL 02. Tectonophysics, 401: 55–77.  
 MARKOWIAK M. 2012 – Przejawy mineralizacji kruszcowej w utworach ediakaru nawierconych otworami Cianowice-2. Biul. Państw. Inst. Geol., 448 (2): 345–358.  
 MARKOWIAK M. 2014 – Przejawy mineralizacji kruszcowej w skałach nawierconych otworami Trojanowice 2 i Cianowice 2. Biul. Państw. Inst. Geol., 459: 83–92.  
 MARKOWIAK M. 2015 – Charakterystyka mineralizacji kruszcowej na tle przeobrażeń termiczno-metasomatycznych skał w rejonie Żarek-Kotowic. Pr. Państw. Inst. Geol., 203: 1–74.  
 MARKOWIAK M., BĄK T., CZARNIAK P., HABRYN R. 2017 – Wykonanie szczegółowego zdjęcia grawimetrycznego i magnetycznego obszaru na NW od otworu Cianowice-2 (na N od Krakowa) w celu zlokalizowania hipotetycznej intruzji granitoidowej, będącej źródłem mineralizacji polimetalicznej. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.  
 OKULUS H., CIEŚLA E., KOSOBUDZKA I. 1979 – Dokumentacja badań grawimetryczno-magnetycznych, temat: Lubliniec–Kraków, 1975–1978. Archiwum PBG, Warszawa.  
 OSTROWSKI C., KORYCZAN A., OSTROWSKA K., PIŚUŁA M., PROBULSKI J. 2013 – Udział grawimetrii w kartowaniu struktur geologicznych w Karpatach. Nafta-Gaz, 1.  
 PIENKOWSKI, 2014 – Profil sedimentologiczny przedkelowejskich (jurajskich) utworów silikoklastycznych w otworze badawczym Cianowice 2 (okolice Krakowa). Biul. Państw. Inst. Geol., 459: 147–156.  
 PŁONCZYŃSKI J. 2000 – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1 : 50 000, ark. Skała. Warszawa.  
 RECZEK J. 1973 – Dokumentacja półszczegółowych badań grawimetrycznych, temat: Górnośląskie Zagłębie Węglowe, 1970–1972. Archiwum PBG, Warszawa.  
 ROSOWIECKA O., KRÓLIKOWSKI C., SOBIEŃ K., GOŁĘBIEWSKI M., LISOWSKI K. 2011 – Opracowanie modelu rozkładu gęstości głównych jednostek geologicznych kraju. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.

Praca wpłynęła do redakcji 26.11.2018 r.  
 Akceptowano do druku 22.03.2019 r.