

Marek POZZI, Tadeusz MZYK
Politechnika Śląska, Gliwice

LOKALNE ZMIANY RODZAJU GRUNTÓW JAKO PRZYCZYNA WYSTĄPIENIA REZYDUALNYCH ZMIAN SIŁY CIĘŻKOŚCI W REJONIE ZAPADLIKA PRZY SZYBIE V KWK SZCZYGŁOWICE

Streszczenie. Artykuł przedstawia metodykę analizy warunków gruntowo-wodnych w szczególnym terenie – w rejonie zapadliska powstałego w trakcie katastrofy budowlanej szybu V KWK Szczygłowice. Wstępnie prowadzone rozpoznanie przypowierzchniowych warstw gruntu z wykorzystaniem analizy mikrogravimetrycznej wykazało wiele stref wskazujących na rezydualne anomalie siły ciężkości (łącznie 10 stref).

W wyniku prowadzonych prac wykazano, że anomalie mikrogravimetryczne nie są spowodowane niewypełnionymi zrobami lub niezidentyfikowanymi wcześniej płytkimi wyrobiskami, ale wynikają z obecności stref rozluźnionego gruntu, a także zmian litologii gruntów.

W artykule przedstawiono zakres badań pozwalający scharakteryzować dwie z takich anomalii, mające wpływ na bezpieczeństwo przebiegającego w pobliżu szlaku kolejowego. Zakres badań pozwolił wyjaśnić przyczyny zaznaczania się strefy anomalii rezydualnej – lokalnych zmian litologii gruntu.

THE LOCAL CHANGES OF SOILS AS CAUSE THE PRONOUNCEMENT OF CHANGES THE STRENGTH OF GRAVITY IN REGION OF HOLLOW NEAR VSHAFT OF THE SZCZYGŁOWICE COAL MINE

Summary. The article represents the methodology of analysis of groundwater conditions in special terrain – in region of hollow formed in track of building catastrophe of V shaft the Szczygłowice Coal Mine. The initially led recognition of superficial layers of soil from utilization the analysis the mikrogravimetry showed the row of zones demonstrative on the anomaly of strength of gravity (together 10 zones).

It in result of led works was showed was, that the anomalies the full drivage the mikrogravimetric do not be cause or the unidentified earlier shallow excavations, but they result with presence of zones of loosened soil and also the changes the litologii of soils.

It the of investigations permitting range in article was introduced was to the self – characterize two of such anomalies, having on safety the influence running in vicinity of railway route. The range of investigations permitted to explain the cause of zaznaczanie the zone of anomaly the rezydualnej – the local changes the litology of soil.

1. Wprowadzenie

Zagrożenia środowiska, wynikające z oddziaływania przemysłu wydobywczego, szczególnie ich źródła i skutki, wymagają przeznaczania znacznych nieraz środków na ograniczanie, zabezpieczanie lub eliminowanie skali zagrożenia. Skutki niedocenienia zachodzących w górotworze zmian i braku przeciwdziałania im prowadzą najczęściej do katastrof budowlanych, powstawania zapadlisk czy innych zagrożeń dla życia lub mienia. Tereny górnicze, pozostające pod wpływem przekształceń geomechanicznych, narażone są nie tylko na łatwo zauważalną degradację związaną z osiadaniami i zmianami stosunków gruntowo-wodnych czy wzrostem zanieczyszczenia gruntu, ale także na degradację struktury gruntu. Degradacja struktury gruntu powoduje, że stabilne i nośne podłoże z upływem czasu nie jest w stanie przenieść zadanych obciążeń i może dojść do katastrofy [4, 5, 6, 7].

Ograniczenie zaznaczania się w terenie górniczym opisanych zagrożeń wymaga prowadzenia jego systematycznego monitoringu, który pozwoli wstępnie zidentyfikować rejonu zagrożone. W tym celu od wielu lat wykorzystywana jest metoda analizy mikrograwimetrycznej [1]. Nie pozwala ona jednak wprost określić przyczyn występowania anomalii. Możliwe jest to tylko w sytuacji, kiedy anomalie wynikają z występowania znanych obiektów, np. wyrobisk szczegółowo zlokalizowanych na mapach górniczych. Jednak w przypadku zidentyfikowania strefy anomalii, która nie wynika z występowania udokumentowanych obiektów, takich jak stare wyrobiska korytarzowe czy płytkie zroby, określenie przyczyny tego zjawiska jest utrudnione.

2. Zakres badań

Dla rozpoznania zasięgu przekształceń geomechanicznych górotworu wokół zapadliska przy szybie V KWK Szczygłowice, wynikających z zaistniałej katastrofy, mogących inicjować powstawanie dalszych deformacji nieciągłych na powierzchni, kopalnia zleciła wykonanie badań mikrograwimetrycznych [1, 2]. Działania te miały na celu określenie wpływu powstałego zapadliska na możliwości utworzenia potrzebnej infrastruktury przy budowanym szybie VI oraz wpływu tego zapadliska na przebiegający w pobliżu szlak kolejowy [1, 2]. Założono, że prognozowanie (monitorowanie) tego rodzaju zagrożeń umożliwi podjęcie wyprzedzających działań zabezpieczających. Pomiaru mikrograwi-

metryczne zostały zrealizowane dwuetapowo przez Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych z Warszawy oraz zespół pod kierunkiem Z. Fajklewicza w listopadzie 2008 roku i objęły powierzchnię ok. 22 500 m² [1].

2.1. Badania mikrograwimetryczne

W trakcie prowadzonych badań mikrograwimetrycznych rozpoznano i zidentyfikowano do głębokości 20 m p.p.t., w otoczeniu szybu V i VI KWK Szczygłowice, strefy różniące się wartością zmierzonej siły ciężkości w przypowierzchniowej partii górotworu. Strefy te wydzielono na podstawie [1, 3]:

- transformacji anomalii Bouguera i opracowanych map anomalii rezydualnych siły ciężkości pochodzących od utworów, zalegających do głębokości 20 m p.p.t.;
- analizy obrazów grawimetrycznych i wydzielonych anomalii związanych z niedoborem masy utworów w warstwie przypowierzchniowej.

Rozkład anomalii pomierzonych (anomalii Bouguera) poddany został transformacji w celu wyeksponowania zaburzeń pola siły ciężkości pochodzących od zmian gęstości utworów przypowierzchniowych (w tym niedoborów masy wynikających z rozluźnień i pustek). Transformacje przeprowadzono przez usunięcie grawitacyjnego oddziaływania mas skalnych stanowiących podłoże warstwy przypowierzchniowej. Zastosowano metodę transformacji kołowej według Griffina, dla promieni uśredniających $r = 20$ m i $r = 40$ m [1].

Opracowano i jakościowo zinterpretowano mapę anomalii grawimetrycznych w redukcji Bouguera oraz mapę anomalii rezydualnych siły ciężkości. Dodatkowe prace obliczeniowe sprowadzały się do rozszerzenia redukcji pomierzonych wartości siły ciężkości g (tzw. redukcji P. Bouguera) o dodatkowe człony zawierające poprawkę topograficzną (mniej istotną [1]) oraz poprawkę górniczą, eliminującą efekt grawitacyjny pochodzący od wyrobisk, w tym od szybów znajdujących się w pobliżu stanowisk pomiarowych. Dla szybów przyjęto kontrast gęstości $2,10 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Wartość największej poprawki górniczej wyniosła +0,154 mGala [1].

Wartości anomalii Bouguera, uwzględniające poprawkę topograficzną i poprawkę górniczą, zostały zapisane w węzłach siatek interpolacyjnych o boku 2,5 m i 5 m. Regularne siatki danych były niezbędne do opracowania map grawimetrycznych oraz do wykonania transformacji pomierzonego pola siły ciężkości [1].

Przyjęte parametry transformacji umożliwiły wydzielenie efektów grawitacyjnych od kompleksów zalegających w przedziałach głębokości do 20 m p.p.t. Opracowane obrazy anomalii rezydualnych wskazują na istnienie wyraźnych zaburzeń pola siły ciężkości [1].

Łącznie w dokumentowanym w trakcie badań obszarze, na powierzchni 22500 m², wydzielono osiemnaście ujemnych anomalii rezydualnych siły ciężkości, oznaczonych literowo od *a* do *s*, o wartościach maksymalnych -0,04 mGal [1]. Szczegółowo strefy te zostały scharakteryzowane w opracowaniach [1, 2]. Osiem z tych anomalii znajdowało się bezpośrednio w rejonie zapadliska i było efektem rozluźnienia masy ze znacznej głębokości [1, 2]. Pozostałe anomalie nie wynikały z występowania płytkich zrobów oraz znajdowały się w znacznej odległości od powstałego zapadliska. Podjęto zatem próbę wyjaśnienia ich genezy z wykorzystaniem innych metod – sondowania statycznego CPTU oraz wierceń badawczych.

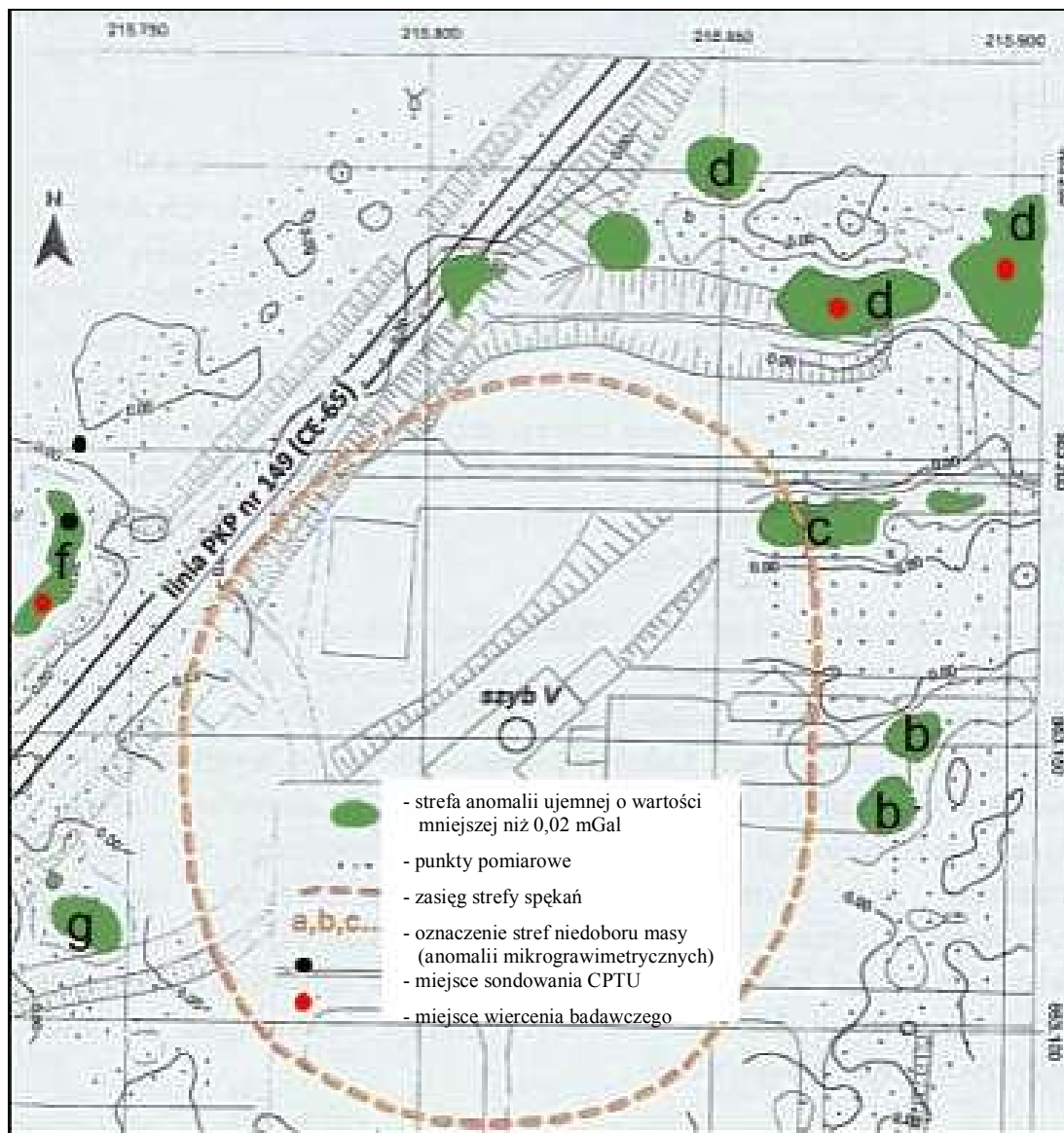
2.2. Badania geologiczno-inżynierskie

Prace terenowe obejmowały wykonanie sondowań CPTU i wierceń badawczych w rejonie, gdzie zlokalizowano występowanie ujemnych rezydualnych siły ciężkości, stwierdzonych w trakcie opracowywania map anomalii mikrograwimetrycznych w rejonie zapadliska szybu V, rejonu budowanego szybu VI oraz przy nasypie kolejowym dla linii kolejowej (rys. 1).

Sondowanie przeprowadzono sondą statyczną CPTU STAT-TG-63-100kN, w miejscu występowania anomalii mikrograwimetrycznej *f* oraz poza strefą anomalii (sondowanie referencyjne) (rys. 1). W trakcie sondowania mierzono opór stożka *q_c*, tarcie na pobocznicy *f_s* oraz ciśnienie porowe *u₂* w funkcji głębokości, co pozwalało określić bezpośrednio na podstawie pomierzonych wartości podstawowe parametry wiodące (stopień zagęszczenia lub stopień plastyczności) [3]. Wyniki sondowania w obydwu miejscach nie pozwalały na jednoznaczne wyjaśnienie przyczyn anomalii, dlatego dodatkowo przeprowadzono wiercenie badawcze w celu scharakteryzowania profilu gruntowego.

Rejon występowania strefy anomalii *d*, zlokalizowany w trudno dostępnym terenie, uniemożliwił wykorzystanie sondy (rys. 1). W tej strefie wykonano jedynie dwa otwory wiertnicze w centrum lokalnych maksimów, dla określenia profilu gruntowego i własności geologiczno-inżynierskich gruntów. Otwory badawcze wykonano wiertnicą mechaniczną, przy użyciu świdra ϕ 63 mm, do głębokości ok. 15,0 m p.p.t. W trakcie wierceń pobierano próbki o nienaruszonej strukturze (NNS) [5, 6]. Próbki do badań laboratoryjnych były

pobierane w trakcie wiercenia, jako próbki NU i NW (o naturalnej wilgotności i naturalnym uziarnieniu) – łącznie pobrano w dwóch otworach 60 próbek do badań laboratoryjnych. Próbkę, które stanowiły identyczne grunty, występujące po sobie w profilu gruntowym, łączono i uśredniano. Ostatecznie do badań wytypowano 37 próbek gruntów. Z każdego otworu pobrano również po 7 próbek NNS (próbki o nienaruszonej strukturze – łącznie 14) dla określenia stopnia zagęszczenia gruntów niespoistych oraz oznaczenia ich ciężaru objętościowego (rys. 2).



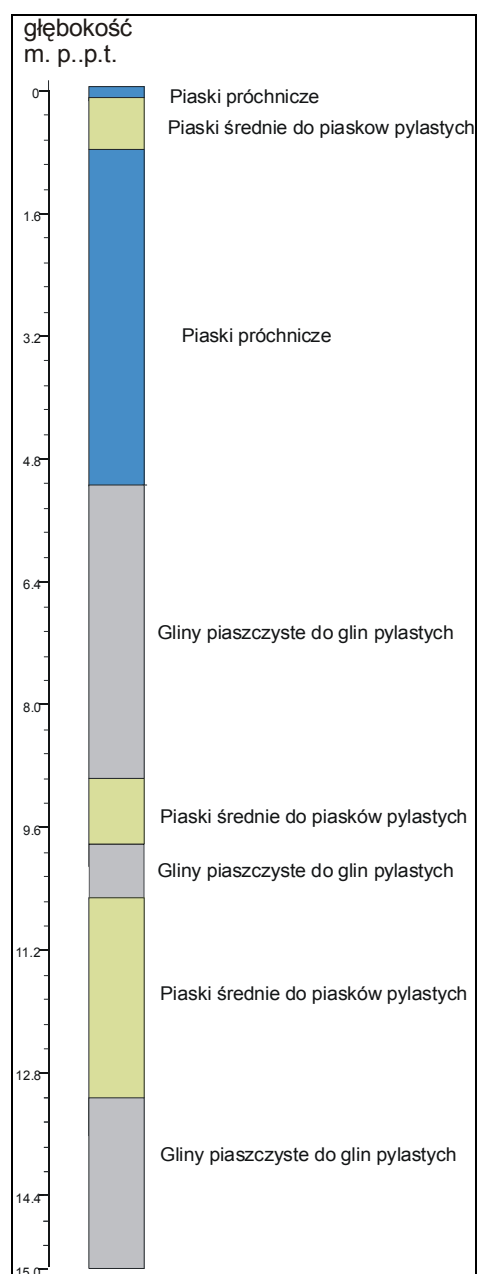
Rys. 1. Rejon zaznaczania się anomalii mikrogravimetrycznych *d* i *f* przy szlaku kolejowym i zapadisku szybu V KWK Szczygłowice [1]

Fig. 1. Region of marking of microgravimetric anomalies *d* and *f* near the railway track and collapse sink of the shaft V Coal Mine Szczygłowice

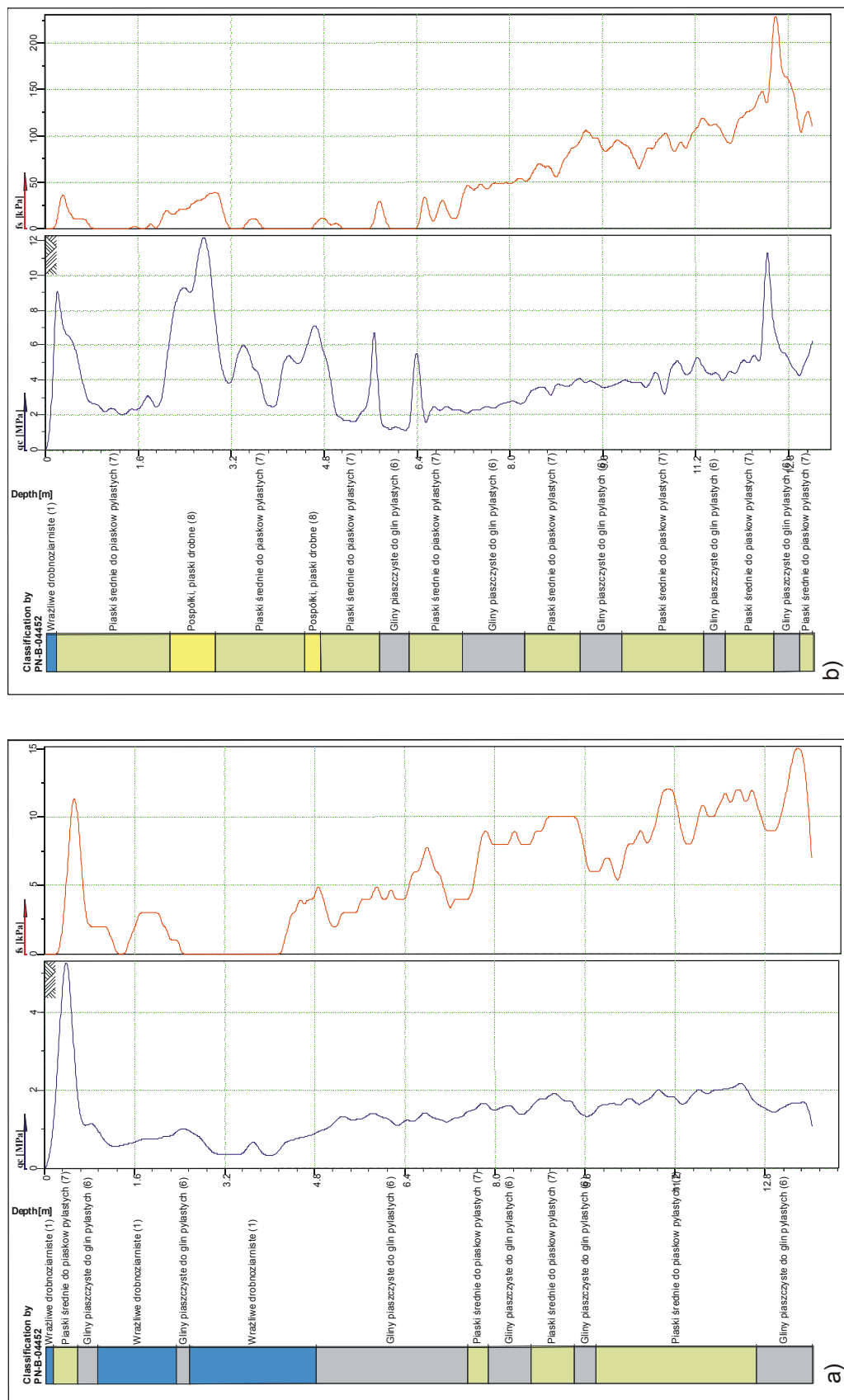
3. Analiza przyczyn zaznaczania się anomalii mikrogravimetrycznej f

Anomalia mikrogravimetryczna f , o wartości $-0,04$ mGal, występuje w rejonie przejazdu przez linię kolejową 149 na północny zachód od rejonu zapadliska szybu V. Powierzchniowo anomalia ta jest niezbyt rozległa, przyjmuje charakterystyczną wydłużoną formę (rys. 1).

Uzyskane wyniki sondowania, zarówno co do wartości, jak i przebiegu wykresów (rys. 3), wskazują na dużą niejednorodność w profilu sondowania. Wskazuje to jednoznacznie na różnice w rodzaju gruntu [8]. Wykonane wiercenie potwierdziło występowanie w rejonie anomalii f , w górnej części profilu, w interwale od 0,8 do 4,9 m p.p.t., gruntów organicznych (drobnoziarnistych piasków próchnicznych) (rys. 2). Grunty te nie występują w rejonie sondowania referencyjnego. Tak duża miąższość gruntów organicznych (4,1 m – rys. 2, 3a) jest powodem zaznaczania się rezydualnej anomalii siły ciężkości [6].



Rys. 2. Profil litologiczny otworu badawczego, wykonanego w anomalii *d*
Fig. 2. Lithologic profile of exploratory bore-hole in the anomaly *d*



Rys. 3. Wyniki sondowania w rejonie anomalii f: a) wyniki sondowania w miejscu anomalii, b) wyniki sondowania w punkcie referencyjnym

4. Analiza przyczyn zaznaczania się anomalii mikrograwimetrycznej *d*

Szczególną uwagę, a zarazem trudności w wyjaśnieniu przyczyn jej występowania, zwracała ujemna strefa anomalna *d*, rozległa powierzchniowo, obejmująca obszar kilku minimów o podobnych amplitudach, znajdująca się na północny wschód od szybu V (rys. 1). Podejrzewano, że anomalia ta, posiadająca płytko zalegające maksimum, związana jest z obniżeniem gęstości objętościowej płytko zalegających utworów [1, 2]. Wyjaśnienie przyczyn zaznaczania się tej anomalii miało istotne znaczenie dla przebiegającego tuż obok nasypu szlaku kolejowego 149, będącego częścią międzynarodowego szlaku CE-65 (rys. 1).

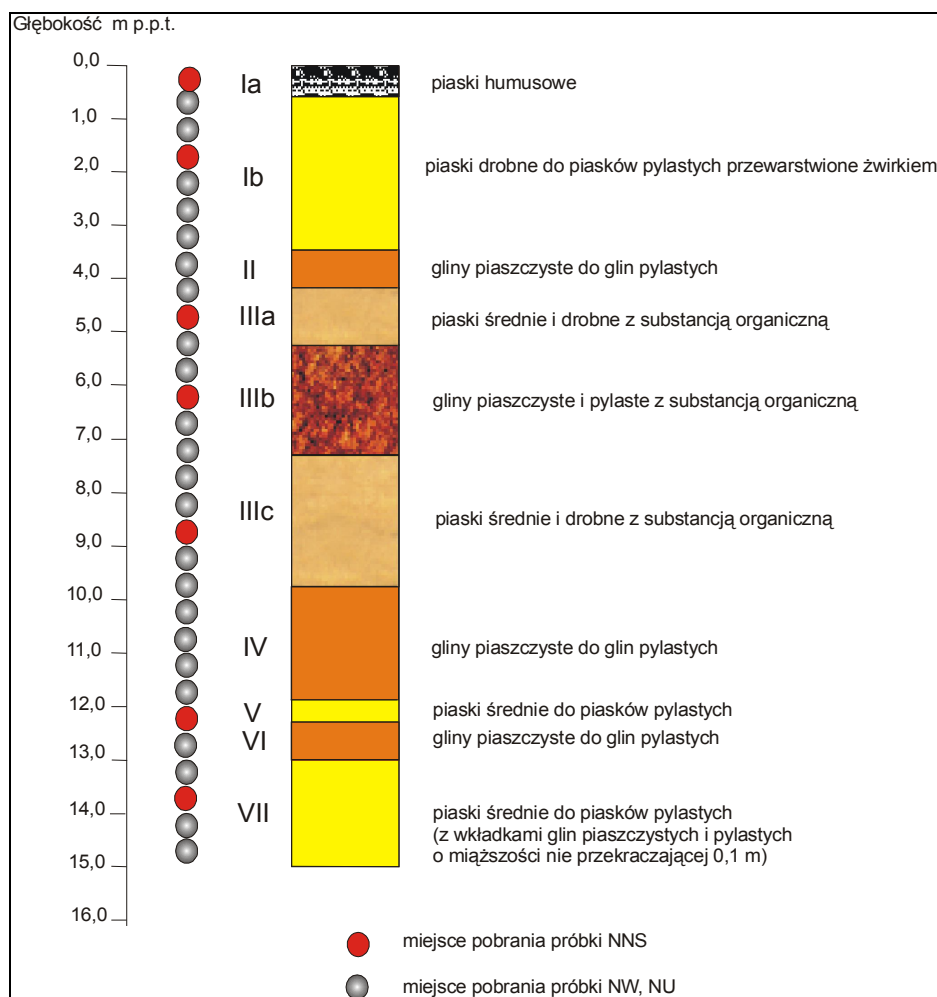
Profile gruntowe w obydwu wykonanych otworach badawczych są identyczne, zauważalna była jedynie niewielka różnica miąższości poszczególnych wydziałów. Wydzielono siedem warstw geotechnicznych, oznaczonych na rys. 3 od I do VII. Istotną różnicą, w stosunku do profili gruntowych z innych badanych rejonów anomalii, jest duży w nich udział gruntów organicznych (rys. 3 – warstwa III a, b, c) oraz stosunkowo płytko zaznaczający się poziom wód gruntowych (na głębokości 4,2 m p.p.t.), związany z kompleksem gruntów organicznych. Kompleks gruntów organicznych charakteryzuje wysoka zawartość substancji organicznej (tabl. 1, określona metodą utleniania w H₂O₂ wg PN-B-04481:1988).

Tablica 1

Zawartość substancji organicznej w III warstwie geotechnicznej

Warstwa geotechniczna	Zawartość substancji organicznej %
IIIa	27,3
IIIb	19,2
IIIc	29,5

Na podstawie wyników badań laboratoryjnych stwierdzono, że warstwy IIIa i IIIc znajdują się w stanie luźnym (tabl. 2), są nawodnione i ulegają upłynnianiu. Zalegająca pomiędzy nimi warstwa IIIb znajduje się w stanie miękkoplastycznym (tabl. 2). Określone wartości gęstości objętościowej (tabl. 2) dla całego kompleksu gruntów organicznych (warstwy III) są niższe od wartości przyjętej w badaniach mikrograwimetrycznych o ok. 30% ($1,6 \cdot 10^3 \text{ Mg} \cdot \text{m}^3$ w porównaniu do $2,1 \cdot 10^3 \text{ Mg} \cdot \text{m}^3$). Różnica taka będzie wpływać na zaznaczanie się anomalii mikrograwimetrycznej. Ponadto, obecność nawodnionych piasków próchnicznych dodatkowo wpływa na notowane wartości anomalne (niższe) siły ciężkości.



Rys. 4. Profil gruntowy w rejonie występowania anomalii mikrograwimetrycznej d [6]

Fig. 4. Profile of the ground in the region of occurring of microgravimetric anomaly d [6]

Tablica 2

Własności geotechniczne gruntów w rejonie występowania anomalii d
obliczone na podstawie wyników badań laboratoryjnych

Warstwa geotechniczna	Głębokość	Gęstość objętościowa	Stopień plastyczn. I_L	Stopień zagęszcz. I_D^*
	m p.p.t.	*10 [Mg/m ³]	[-]	[-]
Piaski humusowe	0,0 - 0,6	1,70*	-	0,24*
Piaski drobne do piasków pylastych ze żwirkiem	0,6 - 3,1 3,1 - 3,8	1,86*	-	0,43*
Gliny piaszczyste do glin pylastych	3,8 - 4,6	2,03	0,27	-
Piaski drobne ze żwirkiem z substancją organiczną	4,6 - 5,7	1,56*	-	0,21*
Gliny piaszczyste do glin pylastych z substancją organiczną	5,7 - 7,2	1,68*	0,49	-
Piaski średnie do piasków pylastych z substancją organiczną	7,2 - 9,8	1,53*	-	0,30*
Gliny piaszczyste do glin pylastych	9,8 - 11,6	2,02	0,31	-
Piaski średnie do piasków pylastych	11,6 - 12,3	1,97*	-	0,48*
Gliny piaszczyste do glin pylastych	12,3 - 13,4	2,09	0,39	-
Piaski średnie do piasków pylastych	13,4 - 15,1	1,96*	-	0,51*

* - oznaczano dla próbek NNS

5. Wnioski

Na podstawie prowadzonych prac terenowych oraz badań laboratoryjnych można stwierdzić, że występowanie anomalii w rejonie zapadliska przy szybie V:

- nie wynika z obecności płytkich zrobów, gdyż w tej części górotworu roboty górnicze nie były prowadzone (utwory czwartorzędowe),
- niektóre z zaobserwowanych anomalii są związane z występowaniem stref rozluźnienia gruntu, wynikających z przekształceń geomechanicznych w rejonie zapadliska; przyczyny występowania tych anomalii wyjaśniono z wykorzystaniem sondowania CPTU [4, 5, 6, 7],
- w rejonie nasypu kolejowego występują strefy rezydualnych zmian siły ciężkości, wynikające ze zmian litologicznych, głównie lokalnym występowaniem gruntów organicznych w profilach gruntowych (anomalia d, f) [6],
- zdecydowanie niższe, o ok. 30%, wartości gęstości objętościowej w rejonie anomalii (d) są bezpośrednią przyczyną zaznaczania się tej rozległej obszarowo anomalii [6].

Prowadzone w okresie od 2008 do 2009 roku prace badawcze, będące połączeniem metod geofizycznych oraz geotechnicznych (sondowań CPTU, wierceń badawczych oraz badań laboratoryjnych), pozwoliły na określenie przyczyn zaznaczania się anomalii mikrograwimetrycznych w rejonie zapadliska szybu V KWK Szczygłowice.

Wyniki prowadzonych prac pozwolą na bezpieczne odtworzenie oraz wykonanie nowej infrastruktury w tym rejonie.

BIBLIOGRAFIA

1. Fajkiewicz Z. (red.): Interpretacja oraz analiza danych w ramach badań mikrograwimetrycznych w rejonie szybu VI Kopalni Węgla Kamiennego „Szczygłowice” w 2008 r. Fundacja Nauka i Tradycje Górnicze, Knurów 2008.
2. Kłosek K.: Analiza zagrożeń utraty stateczności nasypu szlaku kolejowego w sąsiedztwie zapadliska szybu V na podstawie prognozy analityczno – numerycznej z uwzględnieniem wyników pomiarów geodezyjnych i grawimetrycznych wraz z opracowaniem koncepcji geotechnicznego zabezpieczenia nasypu szlaku kolejowego. Gliwice, grudzień 2008 (niepublikowane).
3. PN-B-04452:2002 Geotechnika. Badania polowe.
4. Pozzi M., Mzyk T.: Dokumentacja geotechniczna warunków gruntowych dla posadowienia stacji wentylatorów w rejonie szybu VI KWK Szczygłowice oraz określenia przyczyn wystąpienia anomalii mikrograwimetrycznej – sprawozdanie z pracy NB-334/RG7/08. IGS, Gliwice 2008.

5. Pozzi M., Mzyk T.: Dokumentacja geotechniczna warunków gruntowych w rejonie linii PKP w miejscach ujawnionych anomalii mikrograwimetrycznej – sprawozdanie z pracy NB-90/RG-7/2009. IGS, Gliwice 2009.
6. Pozzi M., Mzyk T.: Dokumentacja geotechniczna warunków gruntowych dla posadowienia stacji wentylatorów w rejonie szybu VI KWK Szczygłowice oraz określenia i wyjaśnienia przyczyn wystąpienia anomalii mikrograwimetrycznej – sprawozdanie z pracy NB-165/RG7/2009. IGS, Gliwice 2009.
7. Pozzi M., Mzyk T.: Wyjaśnienie przyczyn występowania anomalii grawimetrycznych na terenie górniczym KWK „Szczygłowice” z wykorzystaniem sondowania CPTU, Przegląd Górniczy 2010 (w druku).
8. Sikora Z.: Sondowanie statyczne. WNT, Warszawa 2006.

Recenzent: Dr hab. inż. Jarosław Kaszubkiewicz
Prof. nzw. Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu