

Marek POZZI, Tadeusz MZYK  
Politechnika Śląska, Gliwice

## STREFY WYSTĘPOWANIA ROZLUŻNIENIA GRUNTU NA TERENIE GÓRNICZYM KWK „SZCZYGŁOWICE”

**Streszczenie.** Nowoczesne narzędzia badawcze pozwalają identyfikować rejony, w których zachodzą deformacje górotworu wynikające z działalności górniczej.

W artykule przedstawiono wykorzystanie kombinacji analizy mikrogravimetrycznych i sondowania CPTU do identyfikacji stref rozluźnienia gruntów.

## ZONES OF SLACK GROUND OCCURANCE ON MINING AREA OF „SZCZYGŁOWICE” COAL MINE

**Summary.** Modern research tools allow to identify areas in which there are deformations of the rock mass resulting from mining activities.

The article presents a mix of micro gravimetry and CPTU analysis use to identify the zones of loosening of ground.

### 1. Wprowadzenie

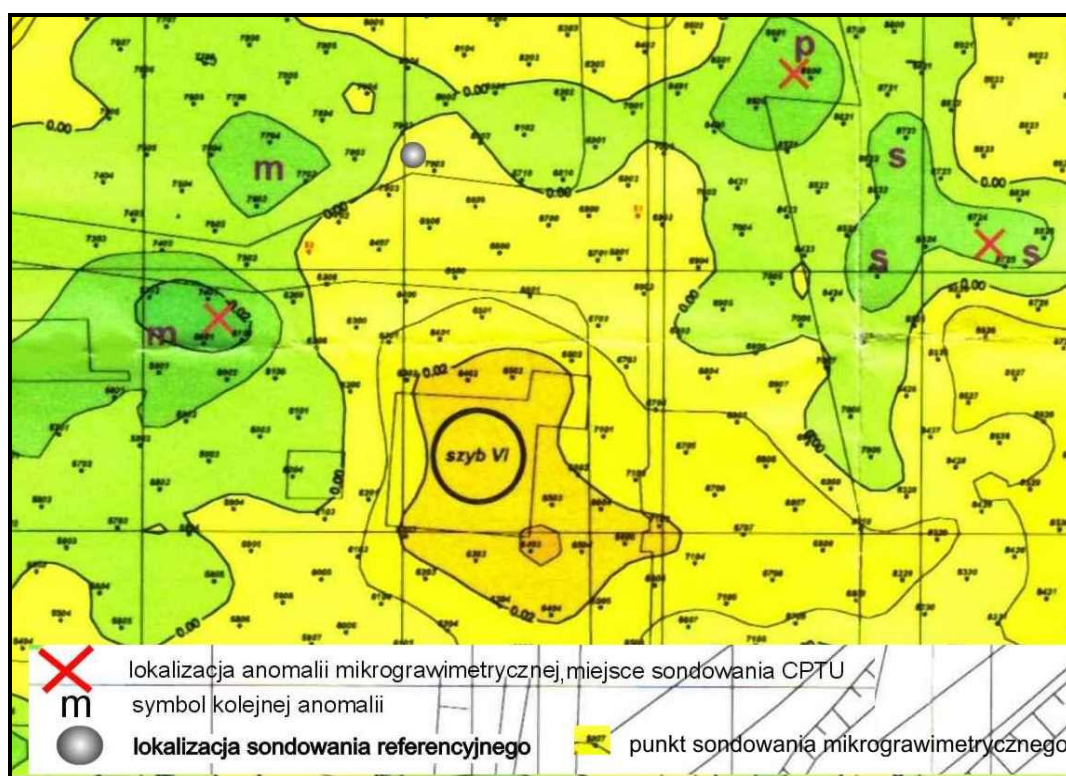
Działalność górnicza powoduje daleko idące zmiany w górotworze spowodowane powstającymi w trakcie prowadzonej eksploatacji pustkami. Wpływ takich pustych przestrzeni na warunki gruntowo-wodne panujące na przypowierzchniowych warstwach gruntów decyduje o możliwości gospodarczego wykorzystania takiego terenu, wpływa także na warunki wegetacji roślin. Skrajnym przykładem wpływu działalności górniczej na warunki wykorzystania powierzchni terenu są ujawniające się deformacje w postaci niecek osiadania lub nieciągłości (zapadlisk, uskoków, szczelin). Zjawiska te, towarzyszące działalności górniczej, często ujawniają się gwałtownie, w sposób niekontrolowany i trudny do prognozowania.

Pierwszym etapem, świadczącym o zachodzących zmianach, jest zaznaczanie się w górotworze stref o odmiennym, w stosunku do pierwotnego, naprężeniu. Naprężenie to może być większe lub mniejsze od pierwotnego, co może świadczyć o zaznaczaniu się strefy uskokowej (ścięcia na skutek przekroczenia wytrzymałości na ścinanie gruntu) lub powstawaniu zapadliska (rozluźnienia gruntu i zniszczeniu jego struktury). Zagęszczanie się gruntu może skutkować zmniejszeniem przepuszczalności gruntu i ograniczeniem naturalnej infiltracji wód, przez co w efekcie mogą powstawać strefy o zdecydowanie większym zawilgoceniu niż pierwotnie. Strefy o rozluźnionej strukturze mogą sprzyjać powstawaniu uprzywilejowanych dróg migracji wód i jednocześnie intensyfikować procesy erozji (np. sufozji).

Śledzenie zmian zachodzących w górotworze z wykorzystaniem nowoczesnych metod badawczych pozwala na wychwycenie zachodzących zmian i podjęcie odpowiednich działań w celu przeciwdziałania lub zminimalizowania ich skutków. Szczególnie istotne jest śledzenie takich zmian w rejonach, gdzie szkody wynikające z działalności górniczej już się zaznaczyły, np. przez powstanie zapadlisk.

## **2. Charakterystyka rejonu badań**

Teren, na którym wykonano badania, usytuowany był na obszarze górniczym KWK „Szczygłowice” w Knurowie. Obszar prac obejmował teren wokół szybu V, gdzie 4 września 2008 roku powstała olbrzymia deformacja nieciągła powierzchni (zapadlisko), powodująca katastrofę budowlaną szybu V i obiektów sąsiednich. Teren, na którym prowadzono badania, rozciągał się w kierunku szybu VI i linii kolejowej biegnącej w pobliżu [1, 3]. Obejmował powierzchnię przylegającą bezpośrednio do granicy strefy spękań wokół leja zapadliskowego przy szybie V i obejmującą pas o szerokości ok. 200 metrów w kierunku szybu VI (rys. 1).



Rys. 1. Mapa anomalii mikrograwimetrycznych w rejonie szybu VI KWK „Szczygłowice”, z zaznaczonymi miejscami sondowania CPTU [1]

Fig. 1. Maps of microgravimetry anomaly in Szczygłowice Coal Mine region with Cone Penetration Test (CPTU) point [1]

### 3. Wykorzystane metody badawcze

Dla rozpoznania zasięgu przekształceń geomechanicznych górotworu wokół szybu V, mogących inicjować powstawanie deformacji nieciągłych na powierzchni, KWK „Szczygłowice” zleciła wykonanie badań mikrograwimetrycznych, których wynikiem była m. in. mapa anomalii ujemnych (rys. 1) [1, 3]. Założono, że prognozowanie (monitorowanie) tego rodzaju zagrożeń umożliwi podjęcie wyprzedzających działań zabezpieczających.

Celem badań mikrograwimetrycznych było rozpoznanie przypowierzchniowej partii górotworu w otoczeniu szybów V i VI pod kątem identyfikacji rozluźnień i pustek do głębokości 20 m p.p.t., obejmujące [1, 3]:

- transformację anomalii Bouguera i opracowanie map anomalii rezydualnych siły ciężkości pochodzących od utworów zalegających w ustalonych przedziałach głębokości,
- analizę obrazów grawimetrycznych i wydzielenie anomalii związanych z niedoborem masy utworów w warstwie przypowierzchniowej.

Zadanie to zrealizowano przez opracowanie i interpretację jakościową map grawimetrycznych - anomalii w redukcji Bouguera i 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) i poprawkę górnica, eliminującą efekt grawitacyjny pochodzący od wyrobisk, w tym od szybów znajdujących się w pobliżu stanowisk pomiarowych. Dla szybów przyjęto kontrast gęstości  $2,10 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ . Wartość największej poprawki górniczej wyniosła  $+0,154 \text{ mGal}$  [1].

Wartości anomalii Bouguera uwzględniające poprawkę topograficzną i poprawkę górnica 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].

Rozkład anomalii pomierzonych (anomalii Bouguera) poddany został transformacji w celu wyeksponowania zaburzeń pola siły ciężkości pochodzących od zmian gęstości utworów przypowierzchniowych (w tym niedobory masy wynikające z rozluźnień i pustek). Transformacje przeprowadzono przez usunięcie grawitacyjnego oddziaływania mas skalnych stanowiących podłoże warstwy przypowierzchniowej. W tym celu zastosowano klasyczną metodę transformacji kołowej według W. R. Griffina dla promieni uśredniających  $r = 20 \text{ m}$  i  $r = 40 \text{ m}$ . Przyjęte parametry transformacji umożliwiły wydzielenie efektów grawitacyjnych od kompleksów zalegających w przedziałach głębokości do 20 m. Opracowane obrazy anomalii rezydualnych wskazują na istnienie wyraźnych zaburzeń pola siły ciężkości [1].

Dla wyjaśnienia przyczyn zaburzeń pola siły ciężkości, w miejscach gdzie zaznaczały się maksima anomalii mikrogravimetrycznych przeprowadzono płytkie wiercenia oraz sondowania (sondą statyczną CPTU). W sondowaniu CPTU sonda o kołowym przekroju poprzecznym i średnicy ok. 3,56 cm, wciskana w podłoże gruntowe ze stałą prędkością 2 cm/s, wyposażona w elektroniczne układy miernicze pozwala na pomiar następujących parametrów [4, 5, 6, 11]:

- siły oporu penetracji względem powierzchni końcówki stożka  $q_c$ , której wartość rośnie wraz ze wzrostem [2, 10, 11]:
  - grubości uziarnienia gruntu,
  - składowej poziomej naprężenia in situ,
  - zagęszczenia gruntu,
  - stopnia prekonsolidacji gruntu,

- siły tarcia względem powierzchni bocznej końcówki znajdującej się bezpośrednio za stożkiem  $f_s$ , która maleje wraz ze [2, 10, 11]:
  - wzrostem średnicy zastępczej cząstek gruntu,
  - zwiększaniem się stopnia zagęszczenia gruntu,
  - wzrostem wskaźnika wrażliwości gruntu,oraz wzrasta wraz ze stopniem prekonsolidacji gruntów spoistych,
- ciśnienia porowego generowanego w trakcie penetracji  $u_2$ , które:
  - rośnie w miarę zmniejszania średnic ziaren gruntu,
  - wzrasta wraz ze wzrostem wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu oraz ze wzrostem wskaźnika wrażliwości gruntu,
  - maleje ze wzrostem współczynnika prekonsolidacji OCR.

Wartości parametrów sondowania oraz ich wzajemne relacje pozwalają na określenie rodzaju gruntu oraz jego podstawowych parametrów fizycznych i cech wytrzymałościowych. Pomiar dokonywany jest metodą elektroniczną, przez ciągły pomiar napięcia na czujnikach umieszczonych w sondzie w trakcie penetracji i przekazywany z końcówki sondy do specjalnego odbiornika, co pozwala na bezpośrednie, tj. w czasie rzeczywistym, wykreślenie trzech ciągłych krzywych przedstawiających mierzone wartości w zależności od głębokości penetracji [2, 11].

Sondowanie statyczne CPTU na podstawie mierzonych wartości  $q_c$ ,  $f_s$ ,  $c_w$  pozwala oszacować stopień plastyczności w gruntach spoistych  $I_L$  oraz stopień zagęszczenia w gruntach niespoistych  $I_D$ , oraz pozostałe parametry fizykomechaniczne [2, 11].

Wyznaczone w ten sposób wartości parametrów wytrzymałościowych gruntu (w warunkach „*in situ*”) są parametrami efektywnymi, przez co uwzględniają aktualny stan gruntu oraz wszelkie czynniki wpływające na określane parametry [2, 6, 10].

#### 4. Wyniki prowadzonych badań

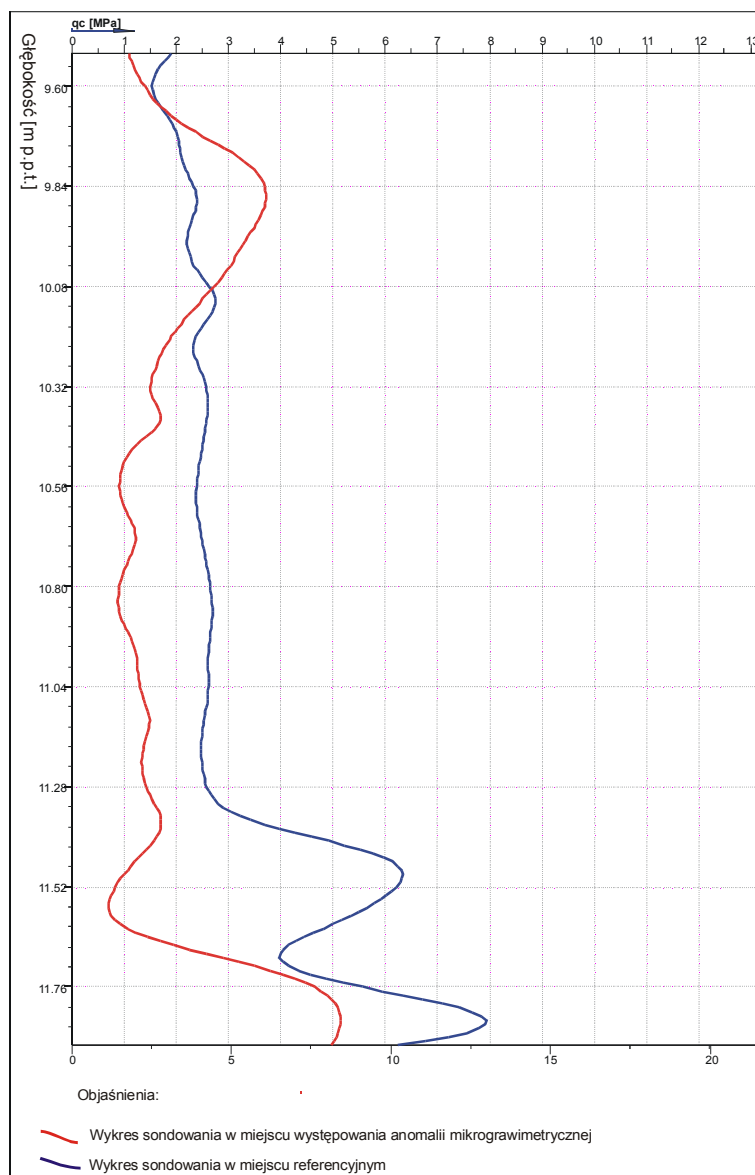
Na opracowanych mapach anomalii mikrograwimetrycznych zaznacza się pewne podobieństwo obrazów anomalii rezydualnych. Ułatwia to śledzenie zaburzeń pola siły ciężkości, czyli nieciągłości rozkładu mas utworów skalnych. Anomalie rezydualne określone wg metody Griffina dają pewną możliwość oszacowania głębokości zalegania źródła zaburzeń pola. Na podstawie charakteru przebiegu izolinii można przyjąć, że rezydualne anomalie ujemne związane są z niedoborem masy w utworach zalegających na głębokości

kilku i kilkunastu metrów. Na otrzymanych obrazach anomalii rezydualnych ujawniły się anomalie zarówno dodatnie, jak i ujemne o różnych amplitudach, świadczące o niejednorodnościach gęstości utworów płytko zalegających, przy czym zróżnicowanie to nie jest spowodowane jedynie zmianami litologii (gleba, ropy, piaski o niejednakowym uziarnieniu i zawadnieniu, gliny). Na rozkład anomalii rezydualnych, w tym na powstawanie anomalii ujemnych, wpływ mogą mieć także rozluźnienia i pustki w utworach czwartorzędowych, stanowiących nadkład warstw karbońskich. Rozluźnienia i pustki wynikają z czynników geologicznych, m.in. sufozji (erozji wewnętrznej), która została zainicjowana podziemną działalnością górniczą [1, 11].

Przeprowadzone w miejscu występowania anomalii sondowanie CPTU oraz sondowanie referencyjne (poza strefą zaznaczania się anomalii) pozwoliło na wyjaśnienie przyczyn zaznaczania się anomalii mikrograwimetrycznych. Charakterystykę profilu gruntowego oraz jego własności w pierwszej kolejności przeprowadzono dla punktu referencyjnego, następnie porównano wyniki z wartościami uzyskanymi z sondowania w rejonie anomalii. Założono, że jeżeli kształty wykresów uzyskanych z sondowania (mierzonych wartości w funkcji głębokości) są identyczne co do kształtu, a różnią się jedynie wartościami, to zasadne jest przyjęcie tezy, że mierzone anomalie mikrograwimetryczne nie wynikają z różnic w litologii gruntów, a wpływ ma jedynie ich stan (stopień zagęszczenia lub plastyczności) [7, 8, 9, 11].

W pierwszej kolejności dokonano interpretacji sondowania I rzędu – klasyfikacji gruntów. Następnie na podstawie przeprowadzonej klasyfikacji obliczano parametry geotechniczne wydzielonych warstw gruntów. Ponieważ wykresy mierzonych parametrów uzyskane z obydwu sondowań są identyczne (co do przebiegu), wykazują jedynie różnice w mierzonych wartościach, porównanie wartości mierzonych w miejscu zaznaczenia się anomalii mikrograwimetrycznej oraz punkcie referencyjnym pozwala stwierdzić, w jaki sposób wartość mierzonego w sondowaniu referencyjnym parametru zmieniła się w miejscu anomalii [7, 8, 9].

W wyniku tej analizy stwierdzono niższe wartości zarówno oporu na stożku, jak i tarcia na pobocznicy w miejscu zaznaczania się anomalii mikrograwimetrycznej w stosunku do wartości mierzonych w punkcie referencyjnym (rys. 2).



Rys. 2. Przykładowy wykres porównujący wyniki sondowania CPTU w miejscu występowania anomalii mikrogravimetrycznej i punkcie referencyjnym [9]

Fig. 2. Example of results of CPTU test in anomaly and reference region [9]

Łącznie ponad 34% profilu gruntowego stanowią grunty, w których wartości mierzonych parametrów stanowią poniżej 50% wartości uzyskanych w profilu gruntowym sondowania referencyjnego. Jednocześnie w pozostałej części profilu stwierdzono występowanie jedynie niewielkich przewarstwień (miąższości do 0,1 m) o mierzonych wartościach znacząco wyższych niż w sondowaniu referencyjnym (wartości wyższe o 30 – 60% wynikające przypuszczalnie z obecności otoczków lub okruchów skalnych), pozostałe wartości mieszczą się w wartościach identycznych jak w sondowaniu referencyjnym (różnice nie przekraczają 20%) [9].

Niższe wartości  $q_c$  oraz  $f_s$  uzyskane w miejscu anomalii mikrogravimetrycznej w stosunku do miejsca poza anomalią (sondowanie referencyjne) wskazują na zmniejszenie

się stopnia zagęszczenia– rozluźnienie gruntu. Należy zauważyć, że w profilu gruntowym w rejonie anomalii nie występuje jedna dominująca strefa rozluźnienia, ale można wyróżnić sześć takich stref w określonych interwałach głębokościowych [7, 8, 9].

## 5. Podsumowanie i wnioski

Prowadzone prace badawcze pozwoliły określić rejony zaznaczania się wpływów działalności górniczej na przypowierzchniowe warstwy gruntu. Wykorzystanie analizy mikrograwimetrycznej oraz sondowania CPTU pozwoliło na wyróżnienie stref rozluźnienia gruntu. Zidentyfikowane strefy świadczą, że zachodzące w górotworze zmiany powodują, iż w profilu gruntowym powstają uprzywilejowane drogi migracji wód. Intensywniej mogą zaznaczać się również procesy erozji, np. sufozji. Wychwycenie tych zmian już na wczesnym etapie pozwala na zabezpieczenie obiektów powierzchniowych przed możliwymi skutkami tych zmian [9].

Powiązanie wyników przedstawionych badań dodatkowo z obserwacjami przyrodniczymi (stanu i kondycji szaty roślinnej) pozwoliłoby na pełniejsze śledzenie zmian warunków gruntowo – wodnych.

W wyniku prowadzonych prac badawczych stwierdzono, że wykorzystanie kombinacji analizy mikrograwimetrycznej i sondowania CPTU pozwala zidentyfikować strefy przekształceń geomechanicznych przypowierzchniowej warstwy górotworu. Kontynuacja takich badań w odstępach czasowych (rocznych lub kilkuletnich) pozwoli na śledzenie zachodzących zmian oraz określenie intensywności ich przebiegu.

## 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. Geosoft Sp. z o.o.: „CPTpro. Instrukcja obsługi.” Ver. 5.42, 2006.
3. 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. (niepublikowane). Gliwice 2008.
4. Lunne T., Robertson P.K., Powell J.: Cone penetration testing in geotechnical practice. E&FN Spon, London 1997.
  5. Młynarek Z., Tschuschke W., Wierzbicki J., Wołyński W.: Wykorzystanie statystycznej analizy danych do wydzielenia geotechnicznych warstw podłoża budowlanego. *Geoinżynieria i Tunelowanie*, 02/2005, s. 14 - 17.
  6. PN-B-04452:2002 Geotechnika. Badania polowe.
  7. 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.
  8. 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.
  9. 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.
  10. Sawicki A., Świdziński W.: Moduły geotechniczne, moduły sprężystości i charakterystyki zagęszczania gruntów niespoistych. *Inżynieria i Budownictwo*, nr 12, Warszawa 1997.
  11. Sikora Z.: Sondowanie statyczne. WNT, Warszawa 2006.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Grzegorz Mutke

## Abstract

Mining damage caused by water relations changes- rock mass drainage or irrigation- decide about conditions of vegetation, people and animals existence. Particularly intensive changes of ground-water conditions proceed on the areas there mining damaged run suddenly- unexpected and difficult to determine by classical methods (for example by determination of settlements).

Modern research methods allow to observe changes which proceed in rock mass by not only settlements size determination, but also ground structural changes determination, for example slack zones. Such areas may have a decisive influence on possibility of near superficial water-bearing stratum as privileged water migration ways into rock mass.

The paper presents activities which have been undertaken for identification of such zones on the existed building catastrophe caused by mining activity.