

22

WYKORZYSTANIE TOMOGRAFII ELEKTROOPOROWEJ DO LOKALIZACJI PŁYTKICH PUSTEK W GÓROTWORZE

22.1 WPROWADZENIE

Eksploatacja górnictwa towarzyszy człowiekowi niemalże od zawsze, zwłaszcza w obszarze Górnego Śląska, gdzie dzieje górnictwa i hutnictwa stały się wielkim i ważnym działem ewolucji gospodarczej. Początkowo roboty górnicze prowadzone były metodą odkrywkową, a z czasem podziemną, rozpoczynając od wybierania zasobów rud metali oraz węgla kamiennych położonych najbliżej powierzchni ziemi. Płytkie wyrobiska korytarzowe pozostawiane były często swemu losowi, a ich obudowa (najczęściej drewniana) traciła stateczność, co powodowało często przechodzenie wyrobiska w stan zawału.

Utrata stateczności płytkich wyrobisk w górotworze powoduje bardzo często powstawanie zapadlisk na powierzchni, co w istotny sposób stwarza zagrożenie dla bezpieczeństwa publicznego. Biorąc pod uwagę dużą liczbę powstających w ostatnim czasie zapadlisk oraz dużą powierzchnię Górnego Śląska objętą starym płytkim kopalnictwem, należy uznać, że problem ten jest istotny i aktualny.

Zdaniem większości badaczy, w warunkach GZW zagrożenie dla powierzchni stanowią pustki znajdujące się na głębokościach do około 100 m [1, 2, 9, 14]. Stąd bardzo istotnym zagadnieniem jest z jednej strony prawidłowa likwidacja pustek, ale też – zanim do likwidacji dojdzie – konieczne jest precyzyjne zlokalizowanie miejsc ich występowania.

Określenie lokalizacji pustki może być przeprowadzone za pomocą szeregu metod górniczych, w tym: wierceń badawczych, górniczych robót podziemnych i naziemnych (wykopów) oraz metod geofizycznych: georadarowej, grawimetrycznej, sejsmicznej czy elektrooporowej [3-7, 14]. Jako że metody górnicze są metodami inwazyjnymi, nie zawsze możliwymi do przeprowadzenia np. z uwagi na istniejące zagospodarowanie powierzchni, stąd metody geofizyczne, jako nieniszczące, szczególnie w ostatnich latach nabierają coraz większego znaczenia. Często natomiast wyniki badań geofizycznych są uzupełniane metodami górniczymi, na przykład

wierceniami badawczymi w ustalonych metodami geofizycznymi lokalizacjach, w celu potwierdzenia uzyskanych wyników.

W kolejnych rozdziałach artykułu przedstawiony został przykład wykorzystania tomografii elektrooporowej, do lokalizacji płytkich antropogenicznych pustek w górotworze. Badania przeprowadzono na terenie górniczym jednej z kopalń GZW, gdzie na przełomie XIX i XX wieku na niedużej głębokości prowadzono eksploatację węgla. Teren ten wybrany został przez wzgląd na dobrze rozpoznane warunki geologiczno-górnice oraz z uwagi na makroskopowo zauważalne zmiany rzeźby terenu korespondujące z lokalizacją wyrobisk określonych na podstawie map górniczych, a także stwierdzone w przeszłości zapadlisko.

22.2 WARUNKI GEOLOGICZNO-GÓRNICZE

Warunki geologiczne analizowanego terenu rozpoznane zostały wierceniami wykonanymi w roku 2011. Łącznie wykonano 17 otworów, z czego 14 zlokalizowano w niedużej odległości od siebie, a pozostałe rozproszono we wschodniej części analizowanego obszaru. Podstawowe informacje opracowane na podstawie kart otworów zestawione zostały w tabeli 22.1.

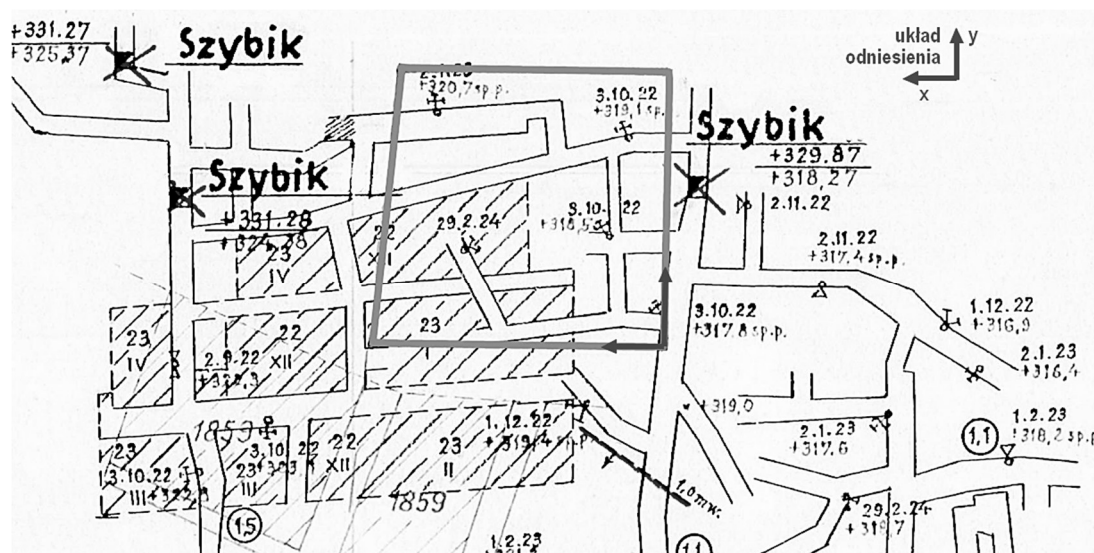
Tabela 22.1 Dane dotyczące wierceń badawczo-technologicznych w rejonie analizowanego obszaru

Numer otworu	Głębokość otworu, m	Grubość nadkładu, m	Interwał występowania pustek, rozluźnień, mb
1	15.0	4.0	-
2	12.0	7.0	-
3	11.0	7.5	-
4	11.0	6.2	-
5	13.3	6.3	6.30-8.60 węgiel spękany
6	11.0	6.5	-
7	11.0	7.3	7.30-8.30 strefa rozluźniona
8	11.0	6.0	7.00-7.80 strefa rozluźniona
9	8.5	4.3	-
10	8.0	4.2	4.20-6.70 strefa rozluźniona
11	11.3	5.1	-
12	13.0	7.1	-
13	8.5	6.0	-
14	10.7	4.2	6.00-8.00 glina zmieszana z węglem
15	8.2	5.1	5.10-7.10 - strefa rozluźniona
16	10.0	7.1	7.10-8.20 węgiel z kawałkami drewna
17	8.6	5.3	-

Pod względem stratygraficznym w budowie geologicznej przypowierzchniowej partii obszaru udział biorą utwory czwartorzędu oraz karbonu. Czwartorzęd występuje na obszarze całej parceli, reprezentują go głównie piaski, gliny, a jego miąższość sięga od 4,2 m do 7,5m. Utwory karbonu reprezentowane są przez warstwy

łaziskie. Do głębokości rozpoznania tj. ok. 15 m są one wykształcone głównie w postaci łupków i węgla. Warstwy karbońskie zapadają w kierunku południowo-wschodnim pod kątem nie przekraczającym 3° . W rejonie analizowanego obszaru nie stwierdzono występowania uskoków oraz innych dyslokacji tektonicznych.

W rozpatrywanym rejonie roboty górnicze prowadzone były w dwóch pokładach: 216 w 1859 roku oraz 219 w latach 1922-1924. Eksploatację prowadzono na głębokości od ok. 9 m do ok. 11 m, system zabierkowym z zawałem skał stropowych. Z udostępnionych materiałów wynika, że w górotworze występują wyrobiska korytarzowe, pionowe wyrobiska udostępniające oraz zroby poeksploatacyjne. Sytuację górniczą ilustruje rys. 22.1. Na rysunku zaznaczono również układ odniesienia, który w dalszej części pracy posłużył jako element identyfikacyjny na załączonych fotografiach.



Rys. 22.1 Mapa pokładu 219 z naniesioną lokalizacją analizowanego obszaru (zaznaczona linia)

22.3 DEFORMACJE ZAOBSERWOWANE NA POWIERZCHNI

Obecność w górotworze niezlikwidowanych lub częściowo zlikwidowanych wyrobisk górniczych oraz występowanie licznych stref rozluźnionych (tabela 22.1) stwarza dla powierzchni duże zagrożenie powstawania deformacji nieciągłych, głównie o charakterze zapadliskowym.

Na obszarze przedmiotowej działki można zauważyć charakterystyczne mikroneicki, stwierdzone w rejonie południowej i wschodniej jej granicy (rys. 22.2 i 22.3). Lokalizacja tych deformacji może być kojarzona z występowaniem w pobliżu granicy działki płytkich wyrobisk korytarzowych, które najprawdopodobniej nie zostały odpowiednio zlikwidowane. Niestety z uwagi na fakt, iż wyrobiska pochodzą z początku XX wieku, brak jest informacji na temat sposobu ich likwidacji – najprawdopodobniej pozostały w większości niezlikwidowane.

Oprócz wymienionych wyżej deformacji pseudo-ciągłych na terenie działki, w jej północno-wschodniej części wystąpiła deformacja nieciągła typu powierzchniowego w postaci zapadliska.



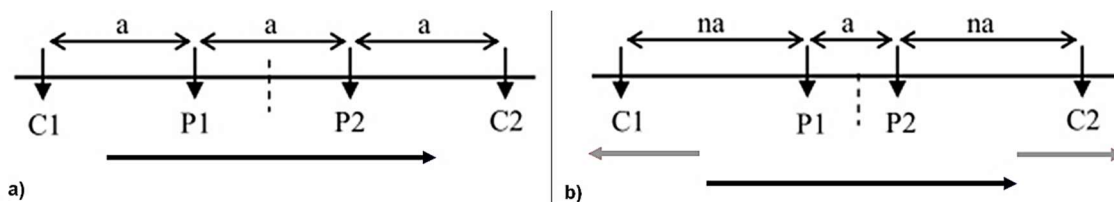
Rys. 22.2 Deformacje powierzchni od strony wschodniej



Rys. 22.3 Deformacje powierzchni od strony południowej

22.4 PRZEPROWADZONE BADANIA ORAZ ICH WYNIKI

Dla celów oceny struktury płytkich warstw górotworu w rozpatrywanym rejonie występowania mikroneceek na powierzchni, wykonano badania metodą tomografii elektrooporowej. Do badań wykorzystano aparaturę badawczą Ares II firmy GF-Instruments. Profil zaprojektowany do badań składał się z 48 elektrod rozmieszczonych wzdłuż linii prostej, w odstępach co 1.5 m. Całkowita długość profilu wynosiła 70.5 m. Maksymalna głębokość prześwietlania przy takiej długości linii i wykorzystanych układach pomiarowych wynosi w świetle literatury [8, 10] około 1/5 długości linii, co w prezentowanym przypadku odpowiada głębokości do około 13 m. Prześwietlenie wykonano za pomocą dwóch układów pomiarowych: „Wenner α ” (rys. 22.4a) oraz „Wenner-Schlumberger” [8, 10] (rys. 22.4b).



Rys. 22.4 Wykorzystane w badaniach układy pomiarowe.

a) Wenner α , b) Wenner-Schlumberger

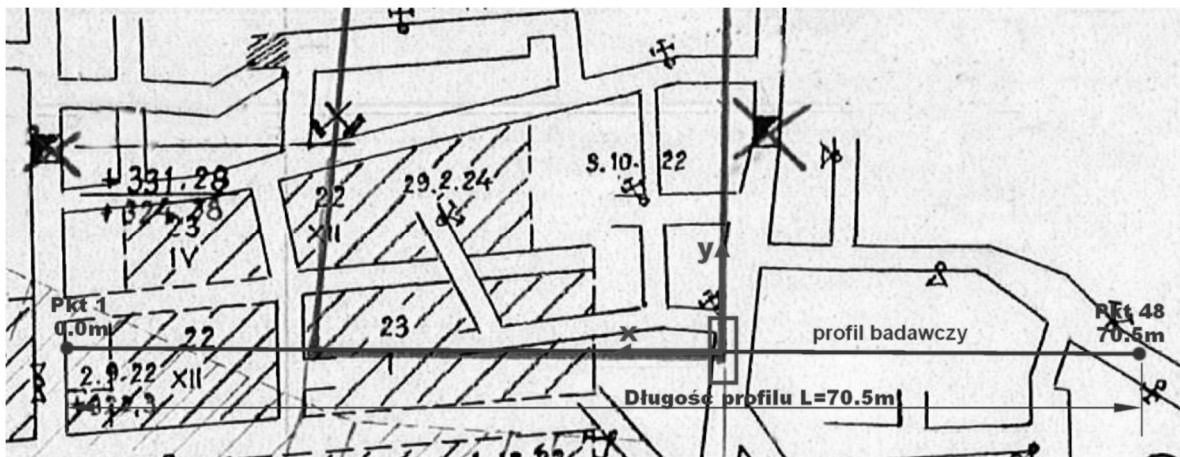
C1, C2 - elektrody prądowe; P1, P2 - elektrody pomiarowe;

a - odległość bazowa między elektrodami,

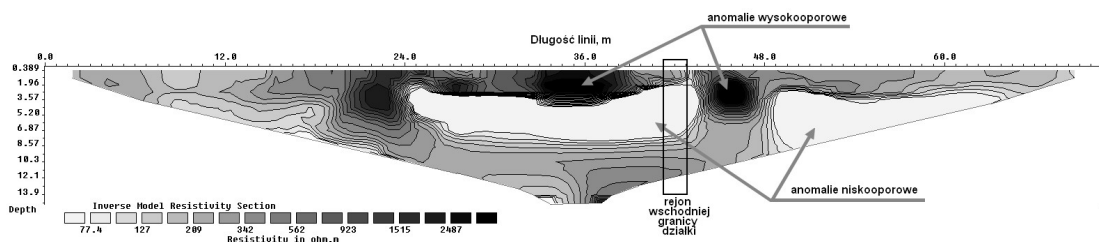
n - krotność odległości bazowej między elektrodami

Do przetworzenia wyników pomiaru wykorzystano oprogramowanie Res2DInv firmy GeoTomo Software [11]. Graficzne zobrazowanie modelu struktury opornościowej górotworu uzyskane z prześwietlania układem Wenner-Schlumberger przedstawiono na rys. 22.5. Z uwagi na ograniczoną objętość niniejszej pracy, nie przedstawiono profilu uzyskanego układem Wenner α . Analizując rozkład oporności na długości linii pomiarowej oraz w głąb górotworu można zauważyć kilka charakterystycznych struktur z wyraźnie zróżnicowaną opornością :

- najbardziej charakterystyczna anomalia o owalnym kształcie widoczna na wschód od wschodniej granicy rozpatrywanej działki. Anomalia ta wykazuje duże wartości oporności w stosunku do otoczenia (około 2500 Ωm) i ma bardzo charakterystyczny kształt przekroju, sugerujący występowanie w tym miejscu pustki wtórnej, najprawdopodobniej związanej z występowaniem poniżej nie podsadzonego wyrobiska korytarzowego. Podobna strefa o wysokiej oporności występuje od strony zachodniej tej granicy. Koresponduje to z sytuacją na mapie wyrobisk górniczych przedstawioną na rys. 22.6, gdzie widoczne są wyrobiska korytarzowe biegnące wzdłuż wschodniej oraz południowej granicy działki.
- poniżej płytkich struktur górotworu o stosunkowo dużej oporności widoczne są rozległe struktury o zdecydowanie mniejszej oporności (około 100 Ωm), które można utożsamiać ze starymi zrobami poeksploatacyjnymi, mogącymi akumulować wodę infiltrującą z powierzchni.



Rys. 22.5 Lokalizacja profilu pomiarowego na tle mapy wyrobisk górniczych



Rys. 22.6 Profil ERT określony na podstawie przeprowadzonych badań układem „Wenner-Schlumberger”

22.5 WNIOSKI

Podsumowując przedstawione w pracy wyniki badań można przedstawić następujące wnioski końcowe :

1. Rozpatrzony w ramach badań teren znajduje się na obszarze dawnej, płytkiej eksploatacji górniczej. Pod powierzchnią, na głębokości około 10m, znajduje się sieć wyrobisk korytarzowych oraz eksploatacyjnych o nieznanym sposobie ich likwidacji.
2. W przeszłości na terenie rozpatrywanej działki wystąpiło zapadlisko, spowodowane najprawdopodobniej samopodsadzeniem niezlikwidowanego wyrobiska korytarzo-wego. Ponadto obserwowano w rejonie działki deformacje pseudo-ciągłe w postaci lokalnych mikroniecek, przedstawione na rys. 22.2 i 22.3.
3. W celu oceny aktualnej struktury płytkiego górotworu naruszonego dawnymi robotami górniczymi, przeprowadzono badania geofizyczne metodą tomografii elektrooporowej. Interpretacja wyników prześwietlania górotworu wskazuje na występowanie lokalnych stref o wysokiej oraz niskiej oporności. Występowanie stref o wysokiej oporności zdaniem autorów można przypisać istnieniu niezlikwidowanych pustek (najprawdopodobniej wyrobisk korytarzowych) będących dobrymi izolatorami. Strefy o niskiej odporności występujące głębiej, można kojarzyć z obszarem wodochłonnych zrobów poeksploatacyjnych.
4. Z uwagi na fakt, iż nie było możliwości potwierdzenia powyższych hipotez za pomocą odwiertów badawczych, przedstawiona powyżej interpretacja nie może być traktowana jako ostateczna. Należy pamiętać, że na jakość wyników badań wykonanych metodą elektrooporową negatywny wpływ mogą mieć różne czynniki zewnętrzne, zależne m. in. od budowy górotworu (np. występowanie warstw będących bardzo dobrymi izolatorami lub przewodnikami, co zaburza przepływ prądu poniżej takiej warstwy [12]). Mimo tych zastrzeżeń należy stwierdzić, że wyniki badań znajdują swoje potwierdzenie na mapie wyrobisk górniczych.

LITERATURA

1. M. Chudek, J. Arkuszewski. „Identyfikacja deformacji zapadliskowych w obszarach dawnej i płytkiej eksploatacji górniczej na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego.” *Budownictwo Węglowe*, nr 4, pp. 3-11, 1980.
2. M. Chudek, W. Janusz, J. Zych. *Studium dotyczące stanu rozpoznania tworzenia się i prognozowania deformacji nieciągłych pod wpływem podziemnej eksploatacji złóż*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 141, Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 1988.
3. Z. Fajkiewicz, W. Piwowarski, J. Radomiński, E. Stewarski, A. Tajduś. *Badania zmian deformacyjnych w górotworze w celu odtwarzania wartości budowlanej terenów pogórnich*. Kraków: Agencja Wydawn.-Poligraf. Art-Tekst, 2004.
4. Z. Fajkiewicz. *Grawimetria poszukiwawcza*. Warszawa: Wydawnictwa Geologiczne, 1973.
5. Z. Fajkiewicz. *Grawimetria stosowana*. Kraków: Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH, 2007.

6. Z. Fajkiewicz. *Mikrograwimetria górnicza*. Katowice: Wydawnictwo Naukowe Śląsk, 1980.
7. Z. Fajkiewicz. *Zarys geofizyki stosowanej*. Warszawa: Wydawnictwa Geologiczne, 1972.
8. „GF-Instruments: ARES II, Automatic resistivity & IP system. User guide.” Brno, Republika Czeska, 2014.
9. A. Kowalski. *Deformacje powierzchni w Górnos Śląskim Zagłębiu Węglowym*. Katowice: Główny Instytut Górnictwa, 2015.
10. M.H. Loke. „Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies, a practical guide to 2-D and 3-D surveys.” Malaysia, 1997-2000.
11. M.H. Loke. „RES2DINV - Geoelectrical Imaging 2D & 3D Geotomo software.” Malaysia, 2013.
12. M.H. Loke. „Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys.” Malaysia, 2014.
13. Z. Pilecki (Ed.). *Zagrożenie deformacjami nieciągłymi na obszarze górniczym Jaworzno III*. Kraków: Wydawnictwo IGSMiE PAN, 2012.
14. P. Strzałkowski. *Zarys ochrony terenów górniczych*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2010.

Data przesłania artykułu do Redakcji: 10.2016

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 03.2017

dr hab. inż. Roman Ścigała, prof. Pol. Śl.

Politechnika Śląska,
Wydział Górnictwa i Geologii
Katedra Geomechaniki,
Budownictwa Podziemnego
i Zarządzania Ochroną Powierzchni
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice
e-mail: roman.scigala@polsl.pl

dr inż. Katarzyna Szafulera

Politechnika Śląska,
Wydział Górnictwa i Geologii
Katedra Geomechaniki,
Budownictwa Podziemnego
i Zarządzania Ochroną Powierzchni
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice
e-mail: katarzyna.szafulera@polsl.pl

dr inż. Marek Kruczkowski

Politechnika Śląska,
Wydział Górnictwa i Geologii
Katedra Geomechaniki,
Budownictwa Podziemnego
i Zarządzania Ochroną Powierzchni
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice
e-mail: marek.kruczkowski@polsl.pl

dr inż. Krzysztof Tomiczek

Politechnika Śląska,
Wydział Górnictwa i Geologii
Katedra Geomechaniki,
Budownictwa Podziemnego
i Zarządzania Ochroną Powierzchni
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice
e-mail: krzysztof.tomiczek@polsl.pl

WYKORZYSTANIE TOMOGRAFII ELEKTROOPOROWEJ DO LOKALIZACJI PŁYTKICH PUSTEK W GÓROTWORZE

Streszczenie: *Warunkiem koniecznym do powstawania na powierzchni zapadlisk jest istnienie pustek w górotworze występujących na niewielkich głębokościach. Pustki te mogą być pochodzenia naturalnego (np. zjawiska krasowe) lub antropogenicznego (wskutek dokonanej eksploatacji górniczej). Bez względu na charakter powstania pustki, stanowi ona poważne zagrożenie dla szeroko rozumianego bezpieczeństwa publicznego, z uwagi na zagrożenie wystąpienia deformacji nieciągłych. Aby zagrożenie tego typu można było zlikwidować, niezbędne jest najpierw rozpoznanie lokalizacji pustki, a następnie jej likwidacja, np. poprzez wypełnienie odpowiednim materiałem. Jednym ze sposobów określenia lokalizacji płytkich pustek w górotworze w sposób nieniszczący są metody geofizyczne. W artykule przedstawiony został przykład wykorzystania jednej z metod geofizycznych – tomografii elektrooporowej, do lokalizacji płytkich antropogenicznych pustek w górotworze. Przeprowadzone badania dotyczyły terenu górniczego jednej z kopalń GZW, gdzie w przeszłości na niedużej głębokości prowadzono roboty górnicze. Teren ten wybrano ze względu na stosunkowo dobrze rozpoznaną sytuację geologiczną i górniczą, ale przede wszystkim przez wzgląd na makroskopowo zauważalne zmiany rzeźby terenu korespondujące z lokalizacją wyrobisk górniczych określonych na podstawie map górniczych oraz stwierdzone w przeszłości przez służby kopalni zapadlisko.*

słowa kluczowe: *deformacje nieciągłe, płytka eksploatacja, metoda elektrooporowa*

THE USE OF ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY FOR IDENTIFICATION OF SHALLOW VOIDS INSIDE THE ROCK MASS

Abstract: *The necessary condition for sinkhole creation on the surface there is a void occurrence inside the rock mass, located at shallow depths. Such voids may be of natural (eg. karst phenomena) or anthropogenic origin (as an effect of underground mining works). Whatever the nature of the void is, it creates a serious threat to the broadly understood public safety, due to the risk of discontinuous deformations. For this type of threat to be eliminated, it is necessary to precisely recognize the location of the void firstly, then its liquidation should be done, eg. by filling in with appropriate material. One of the non-destructive ways for determination of the shallow cavities location inside the rock mass are geophysical methods. In the paper, an example of using the electrical resistivity tomography for identification of shallow anthropogenic voids has been presented. The study concerns the mining area of one of the Upper Silesian Basin mines, where in the past the mining works were carried out at shallow depth. This area was chosen because of the relatively well-recognized geological and mining situation, but above all for the sake of macroscopically visible changes in the terrain morphology, corresponding to the location of the mine workings identified on the basis of mining maps and the sinkhole created in the past in this area.*

Key words: *discontinuous deformations, shallow extraction, electrical resistivity method*