

# Przykłady zagrożeń powierzchni terenu deformacjami nieciągłymi typu powierzchniowego ujawniające się nad zlikwidowanymi podziemnymi wyrobiskami górniczymi

KRZYSZTOF TAJDUŚ, ANTON SROKA, RAFAŁ MISA, MATEUSZ DUDEK

*Instytut Mechaniki Górotworu PAN; ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków*

## Streszczenie

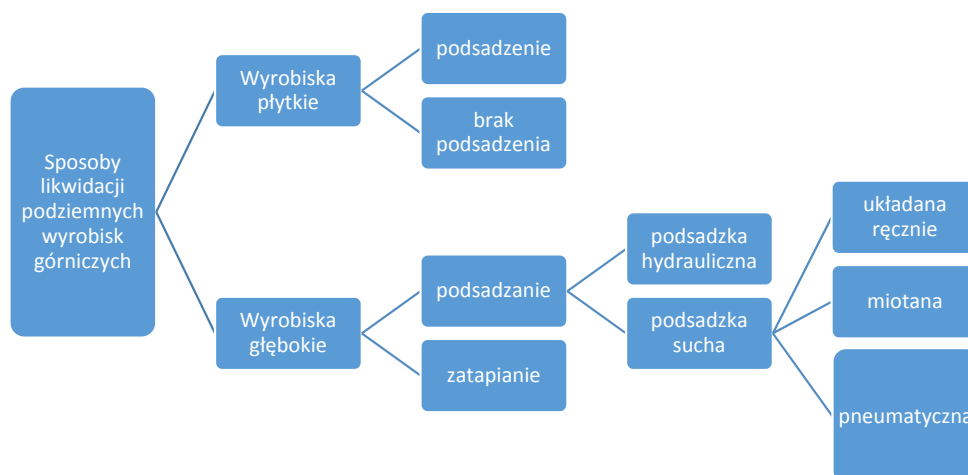
Artykuł przedstawia kilka zdarzeń deformacji nieciągłych typu powierzchniowego, które ujawniły się na powierzchni terenu w rejonach zlikwidowanych podziemnych kopalń. Autorzy przedstawili opis warunków, które doprowadziły do powstania deformacji, a następnie przedstawiono sposoby ich rewaloryzacji.

**Słowa kluczowe:** deformacje nieciągłe, zamykanie kopalń, geomechanika górnicza

## Wstęp

W Europie od wieków prowadzi się podziemną eksploatację górnictwem złóż mineralnych. Z powodów socjalnych, zlokalizowana jest ona głównie w rejonach aglomeracyjnych, co często powoduje negatywne skutki w postaci szkód górniczych w obiektach budowlanych związanych z prowadzeniem podziemnych prac górniczych. Z biegiem lat z uwagi na wyczerpanie zasobów bilansowych lub też czynników ekonomiczno-społecznych część tych kopalń została zamknięta. Stworzyło to jednak liczne problemy związane z istniejącymi już podziemnymi wyrobiskami górniczymi, takimi jak: komory, chodniki, szyby, pochylnie, sztolnie, zroby, itp. W trakcie istnienia kopalni wyrobiska te były wykorzystywane i utrzymywane w celach m.in. transportu, wentylacji, a po likwidacji przedsiębiorstwa należało je odpowiednio zabezpieczyć przed ewentualnym zawalem, którego skutkiem często są duże deformacje powierzchni terenu zarówno ciągłe, jak i nieciągłe.

Sposoby likwidowania podziemnych wyrobisk górniczych można podzielić w zależności od stosowanej technologii wydobycia oraz warunków górnictwo-geologicznych (Rys. 1).



Rys. 1. Sposoby likwidacji podziemnych wyrobisk górniczych

Pomimo stosowanych różnych metod zabezpieczenia wyrobisk podziemnych zamykanych kopalń deformacje terenu są nadal dużym problemem na terenach poddanych ich wpływowi. Ogólnie można je podzielić na dwa typy: **deformacje ciągłe** i **nieciągłe**. Warunki ich występowania oraz możliwość zaistnienia takiego zdarzenia zależą głównie od sytuacji górniczo-geologicznej, hydrogeologii i właściwości mechanicznych skał i gruntów w ich rejonie. W sytuacji prowadzenia podziemnej eksploatacji górniczej, zarówno deformacje ciągłe, jak i nieciągłe stanowią duże zagrożenie dla powierzchniowych (i podziemnych) obiektów budowlanych, natomiast od momentu likwidacji kopalń (zaprzestania eksploatacji i jedynie prowadzenia prac likwidacyjnych, tj. podsadzania, zatapiania, itp.) zjawisko deformacji ciągłych nie stanowi już takiego zagrożenia dla obiektów powierzchniowych. Jak wykazuje doświadczenie autorów, potwierdzone przykładami, główną przyczyną uszkodzeń w obiektach budowlanych i powierzchni terenu są deformacje nieciągłe. Warunki ich powstawania są jednak różne. Dlatego nie należy w tym przypadku marginalizować powstających deformacji ciągłych nad np. zalewanymi kopalniami, które niejednokrotnie stanowią „inicjator” do powstania istotnych co do wielkości i szkodliwości deformacji nieciągłych.

## Deformacje nieciągłe powstałe w wyniku ruchów górotworu spowodowanych przez płytką eksploatacją górniczą

W ujęciu szkód górniczych pod nazwą „deformacje nieciągłe” należy rozumieć przerwanie ciągłości pierwotnej powierzchni terenu lub lokalnie dużą intensywność ruchów na małym obszarze, zachodzącą pod wpływem przemieszczeń górotworu wywołanych wyrobiskami górniczymi. Najczęściej zjawiska oddziaływania wyrobisk podziemnych na górotwór są ściśle powiązane z procesami naturalnymi zachodzącymi w górotworze (np. sufozja mechaniczna), jednak pustki poeksploatacyjne stanowią przyczynę pierwotną, a sufozja – wtórną, powstawania deformacji nieciągłych.

Przyczynami powstawania deformacji nieciągłych mogą być [5]:

- Ruchy górotworu wywołane płytką eksploatacją górniczą, w tym utrata stateczności wyrobisk chodnikowych.
- Ruchy górotworu wywołane eksploatacją w rejonie uskoku.
- Reaktywacja starych zrobów.
- Aktywacja zlikwidowanych szybów.
- Pożary w resztkach pokładów zalegających na niewielkich głębokościach.
- Pokrywające się granice eksploatacji w kilku pokładach.
- Zmiany hydrologiczne w starych zrobach/wyrobiskach.

O wielkości i zasięgu deformacji nieciągłych decydują: głębokość eksploatacji, budowa geologiczna i własności fizyczne skał nadkładu, charakter zalegania warstw, wymiary wyrobisk górniczych (zwłaszcza szerokość), sposób likwidacji zrobów, stopień zruszenia górotworu, nieciągłości i roboty górnicze w strefach uskoków, hydrogeologia i tektonika [5].

Aktualnie można wyróżnić dwa główne typy deformacji nieciągłych (Tabela 1).

Tab. 1. Klasyfikacja i rodzaje deformacji nieciągłych

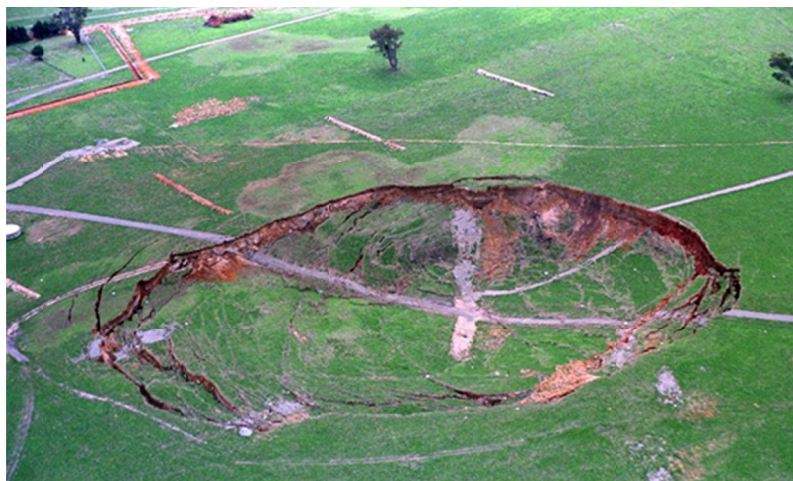
Rodzaje deformacji nieciągłych	<b>deformacje typu powierzchniowego</b> , charakteryzujące się ograniczoną powierzchnią o konturze zamkniętym
	<b>deformacje typu liniowego</b> , charakteryzujące się dominującym jednym wymiarem

Do pierwszego typu deformacji nieciągłych (typu powierzchniowego) można zaliczyć deformacje w postaci **zapadlisk**. Są one jednym z najgroźniejszych zjawisk na powierzchni terenu pojawiające się nad dawnymi wyrobiskami górniczymi (Rys. 2). Charakteryzują się one różną średnicą (dla deformacji o regularnym kształcie) lub długością i szerokością (dla deformacji o nieregularnym kształcie), oraz głębokością oraz stopniem nachylenia.

Można wyróżnić następujące etapy tworzenia się zapadliska:

1. W wyniku zbyt dużej powierzchni niepodpartej w stropie bezpośrednim pustki tworzy się strefa spękań. Ma ona kształt zbliżony do sklepienia ciśnień (kształt półeliptyczny), a jej wysokość zależna jest od warunków fizyko-mechanicznych skał zalegających w stropie oraz grubości wybrania.
2. Masyw skalny w wyniku spękania ulega rozluźnieniu powodując opad wolnych części skał do wyrobiska. Równocześnie, powstaje pustka wtórna w miejscu oderwanych fragmentów skały.

3. W wyniku działania czynników zewnętrznych, tj. woda, zwietrzenie oraz występujących w górotworze procesów reologicznych, strefa spękań stropu przemieszcza się w kierunku powierzchni terenu.
4. Następuje spadek objętości pustki w wyniku zwiększenia się objętości luźnych fragmentów skalnych.
5. Gdy głębokość pustki pierwotnej jest niedostatecznie duża na powierzchni tworzy się deformacja nieciągła.

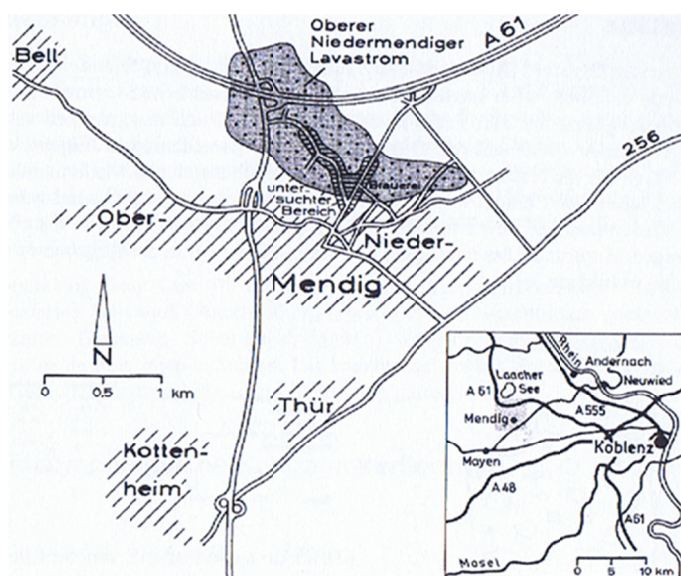


Rys. 2. Zapadlisko nad wyrobiskiem kopalni Elura w Australii [6]

Poniżej przedstawiono kilka przykładów deformacji nieciągłych typu powierzchniowego, które wystąpiły na terenie Niemiec.

### Przykład 1: Kopalnia Oberer Niedemendiger Basaltlavastrom

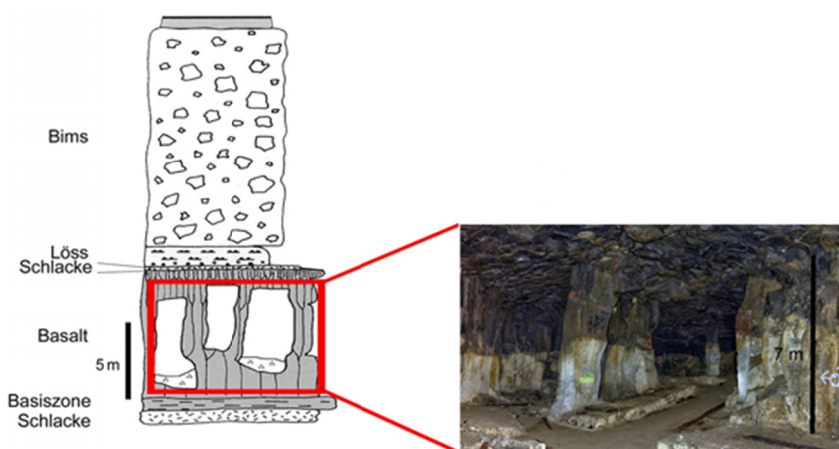
Jednym z przykładów uszkodzeń nieciągłych powierzchni terenu wynikłych z zawalenia się wyrobisk podziemnych płytkiej kopalni jest sytuacja w rejonie miasta Mendig (Niedermendig/Osteifel, Rheinland-Pfalz), w pobliżu którego przed wiekami prowadzono eksploatację bazaltu (kopalnia „Oberer Niedemendiger Basaltlavastrom”) (Rys. 3).



Rys. 3. Lokalizacja kopalni Oberer Niedemendiger Basaltlavastrom [1]

Kopalnia prowadziła podziemną eksploatację górnictwem bazaltu [3], [1], której powierzchnia obejmowała około 200 000 m<sup>2</sup>. Kopalnia ta wykorzystywała tradycyjną metodę górnictwa filarowo-komorową, polegającą na eksploatacji wyrobisk wraz z pozostawieniem między nimi niewybranych części złoże (filarów

bazaltowych) (Rys. 4). Utworzone i pozostawione komory o wysokości od 4 m do 7 m, zlokalizowane są na płytkiej głębokości od 15 do 25 m pod powierzchnią terenu. W nadkładzie wyeksploatowanych komór znajduje się niewielka warstwa luźnej skorii o strukturze gąbczastej, następnie nad nią zlokalizowana jest gruba warstwa skały pumeksowej (o porowatości sięgającej blisko 50%), dochodzącej aż do powierzchni terenu.



Rys. 4. System komorowo-filarowy w kopalni „Oberer Niedemendiger Basaltlavastrom” [1]

Badania laboratoryjne parametrów geomechanicznych przeprowadzone dla próbek skalnych<sup>1</sup> bazaltu z Mendiger [2] wykazały następujące wartości:

- gęstość skały: 2,15 [g/cm<sup>3</sup>] (±0,10),
- porowatość: 23 [%] (±3,0),
- wytrzymałość jednoosiowa na ściskanie: 61,0 [MPa] (±29,6),
- wytrzymałość na rozciąganie: 7,6 [MPa] (±3,4),
- moduł Younga: 16 [GPa] (±5,4),
- kohezja: 10 [MPa] (±1,2),
- kąt tarcia wewnętrzny: 42 [°] (±29,6),
- liczba Poissona: 0,17 [-] (±0,08).

Wartości prezentowanych parametrów wytrzymałościowych w odniesieniu do warunków górniczych (tzn. głębokości eksploatacji i ciśnienia pionowego) świadczą o wysokich jej wartościach. Natomiast pomimo tego z czasem pod wpływem długotrwałego działania ciśnienia pionowego skał nadległych, temperatury, wilgotności i zwietrzenia wiele filarów zaczęło ulegać kruchemu pękaniu (Rys. 5). Brak podparcia spowodowało zwiększenie się powierzchni niepodpartego stropu i w konsekwencji doprowadziło to do wystąpienia lokalnych obwałowań.



Rys. 5. Przykład zniszczonego filara oraz zawał skał stropowych [1]

<sup>1</sup> Badania wykonano dla różnej ilości próbek, od 18 do 60, natomiast w nawiasach podano rozrzut uzyskanych wyników badań.



Powstałe uszkodzenia w górotworze spowodowały w dalszej kolejności niekontrolowane deformacje powierzchni terenu typu nieciągłego, których przykłady przedstawiono na rysunkach 6a i 6b.



**Rys. 6.** Wielkośrednicowe zapadliska powierzchniowe powstałe nad zawalonymi komorami kopalni Oberer Niedemendiger Basaltlavastrom (obszar boiska sportowego) w mieście Mending [3] z lat: (a) 1988 oraz (b) 1994

W celu niedopuszczenia do dalszych niekontrolowanych ruchów górotworu wprowadzono program naprawczy. W wyniku tego programu przeprowadzono inwentaryzację istniejących komór, wraz z wykonaniem pomiarów geodezyjnych (m.in. konwergencji). Następnie przeprowadzono badania geotechniczne i geofizyczne w celu rozpoznania masywu skalnego oraz zaproponowania przeprowadzenia odpowiednich zabezpieczeń, takich jak: wykonanie wzmocnienia z betonu natryskowego na strop, ociosy i spąg komory, zainstalowanie kotew w miejscach wymaganych założenia konstrukcji wspornikowych oraz siatek stalowych.

### Przykład 2: Szyb górniczy Gustav

W maju 2010 roku w rejonie St. Goar Werlau (ok. 20 km od miasta Koblenca) na powierzchni terenu powstało duże zapadlisko pogórnice [4] (Rys. 7). Pomiary wykazały, że głębokość stożka zapadliskowego wyniosła ok. 15 m, a średnica ok. 20 m. Powstał on w miejscu istnienia dawnego zlikwidowanego przez wypełnienie szybu górniczego Gustav, charakteryzującego się głębokością sięgającą 432 m i będącym częścią dawnej kopalni cynku „Blei-Zink-Grube Gute Hoffnung”. Szyb ten zlokalizowany był na dawnej hałdzie górniczej. Przypuszczalnym powodem powstania zapadliska było obsunięcie się (opad) materiału wypełniającego szyb (podsadzki) tworząc w ten sposób przestrzeń, do której wdarł się nadległy masyw skalny.



**Rys. 7.** Zapadlisko powstałe w miejscu szybu górniczego „Gustav” kopalni „Blei-Zink-Grube Gute Hoffnung” [4]

Wydarzenie to zostało poprzedzone rok wcześniej intensywnymi opadami atmosferycznymi, które spowodowały nagłe wdarcie się dużej ilości wody wraz ze szlamem do wyrobisk dawnej kopalni, doprowadzając do osłabienia tarcia materiału wypełniającego, który następnie został częściowo wypłukany z wyro-

bisk górniczych. W wyniku rozszczelnienia materiału podsadzkowego, w ciągu kilku godzin do wyrobisk przedostało się ok. 10 000 m<sup>3</sup> mieszaniny wody i szlamu, co doprowadziło do podniesienia się poziomu wody w dawnej kopalni.

W celu zabezpieczenia obszaru przed dalszymi deformacjami postanowiono wydzielić uszkodzony teren wraz z obszarem otaczającym, który został zamknięty dla osób postronnych, następnie przewidziano odbudowanie rury szybowej.

### Przykład 3: Krater von Wattenscheid

Kolejnym przykładem zapadliska powstałego w rejonie mieszkalnym, jest tzw. „Krater von Wattenscheid”. Powstał on w styczniu 2000 r. w dzielnicy Wattenscheid miasta Bochum, w kształcie leja zapadliskowego o głębokości ok. 15 m i powierzchni 500 m<sup>2</sup>. Zapadlisko powstało w wyniku ruchów gruntu w rejonie dawnego zlikwidowanego szybu wydobywczego nr. 4 kopalni węgla „Maria-Anna”. Zaistniały wypadek zagroził zarówno kilku obiektom mieszkaniowym, jak i również istniejącej drodze dojazdowej (Rys. 8). Powodem powstania zapadliska były źle wykonane prace likwidacyjne budynków kopalni węgla przeprowadzone w roku 1906. W ich wyniku zawaleniu uległa wieża szybowa (nr 4), która następnie opadła do wnętrza szybu, w konsekwencji niszcząc jego obudowę szybową i zakleszczając się na głębokości ok. 40 m pod powierzchnią terenu. Sytuacja ta nie spowodowała przerwania prac likwidacyjnych, doprowadzając w konsekwencji do podsadzania pozostałej części szybu. Pozostawienie wyposażenia szybu w połączeniu ze zbyt dużym uziarnieniem materiału zasypowego skutkowało powstaniem w rurze szybowej pustek o znacznych objętościach. Ogółem do rury szybowej o objętości 13 000 m<sup>3</sup> wprowadzono jedynie około 2 200 m<sup>3</sup> materiału podsadzkowego. W roku 1989 przystąpiono do dalszych prac zabezpieczających, skupiono się jednak tylko na przypowierzchniowej warstwie rury szybowej do głębokości 35 m. Błędną decyzją był brak zabezpieczeń dla głębszych rejonów w których nadal występowały pustki. Z czasem w wyniku działania wody oraz innych procesów degradujących, zakleszczona w górotworze obudowa drewniana (wraz z elementami szybu) zaczęła tracić swoją podporność. Powstała pustka zaczęła stopniowo przemieszczać się ku powierzchni, powodując kolejne fazy opadania warstw skalnych i gruntowych. Ruchy te doprowadziły do powstania zapadliska poprzedzonego kilkoma silnymi wstrząsami sejsmicznymi. W celu zabezpieczenia zniszczonego rejonu wtłoczono blisko 7 500 m<sup>3</sup> betonu.

Przedstawione przykłady deformacji nieciągłych typu powierzchniowego zostały zaklasyfikowane do gatunku zapadliskowego. Jednak ruchy górotworu związane ze zmieniającymi się warunkami brzego-



(a)



(b)



(c)

Rys. 8. Zapadlisko powstałe na osiedlu mieszkaniowym miasta Bochum [7-9]



wymi (gruntowymi, skalnymi, siłami zewnętrznymi, rekonsolidacją, itp.) prowadzą również do innych form powierzchniowej deformacji nieciągłej. Przykładem jest powstanie na powierzchni **osuwiska**. Jest ono skutkiem przemieszczenia się warstw gruntowych (ewentualnie skalnych) po płaszczyźnie nachylonej. Przyczyną wywołującą ruchy może być, zarówno zmniejszenie tarcia powierzchniowego na granicy warstw w wyniku działania wody lub też przemieszczenie się nadkładu zlokalizowanego na skarpie do dawnych sztolni (wyrobisk) górniczych. Często zdarza się, że problem pojawienia się osuwiska na terenach dawnych kopalń jest problemem składającym się z obu tych przypadków. Przykładem takiego zdarzenia jest katastrofa związana z aktywacją starych eksploatacyjnych podziemnych wyrobisk górniczych w rejonie Sachsen-Anhalt (miejsowość Nachterstedt) (Rys. 9). Początkowo na danym terenie istniała kopalnia podziemna, która prowadziła eksploatację metodą chodnikową. W latach późniejszych (pod koniec XIX wieku) z przyczyn ekonomiczno-technologicznych podjęto decyzję o przeprowadzeniu w tym miejscu eksploatacji technologią odkrywkową. Po zamknięciu kopalni (połowa XX wieku) odkrywkę zatopiono tworząc zalewisko. W wyniku podnoszenia się wód w zalewisku i związanych z tym zmianach gruntowo-wodnych, uaktywnione zostały dawne chodniki eksploatacyjne zlokalizowane w zboczu zlikwidowanej kopalni odkrywkowej. Zawał tych wyrobisk doprowadził do utraty stateczności skarpy i powstanie osuwiska.



Rys. 9. Osuwisko powstałe w miejscowości Nachterstedt w pobliżu dawnej eksploatacji węgla brunatnego [10]

Niestety, przedstawione powyżej przykłady, nie były jedynymi zdarzeniami związanymi z pojawieniem się deformacji nieciągłych typu powierzchniowego nad zlikwidowaną eksploatacją górniczą. Szereg zdarzeń wystąpiło głównie w rejonach Zagłębia Ruhry, co związane jest z prowadzoną przez wiele wieków intensywną podziemną eksploatacją górniczą. Kilka dodatkowych przykładów wystąpienia deformacji nieciągłej typu powierzchniowego zostało przedstawionych w Tabeli 2.

Tab. 2. Inne wybrane przykłady zapadlisk powstałych na terenach górniczych Niemiec

Rok	Miejsce wystąpienia	Opis powstałej deformacji typu powierzchniowego
1987	Zagłębie Ruhry, Essen-Freisenbruch	Deformacja powstała w rejonie dawnego szybu „Heinzmann” kopalni „Zeche Eintracht Tiefbau”. Pustka została wypełniona betonem.
1998	Lassing (Steiermark)	W wyniku zawalenia się podziemnej komory górniczej zlokalizowanej na niedużej głębokości na powierzchni powstało zapadlisko regularne o średnicy ok 50 m i głębokości 30 m. Przyczyną powstania zapadliska był nagły dopływ wody.
2004	Siegener Rosterberg	W wyniku zawalenia się płytkiej starej komory podziemnej wraz z chodnikiem dojściowym powstało na powierzchni zapadlisko. W celu jego likwidacji wtłoczono 22 000 ton materiału wypełniającego.
2007	Zagłębie Ruhry, Witten Stadtteil Annen	Deformacja nieciągła typu powierzchniowego powstała w rejonie dawnego szybu „Meyer” kopalni „Zeche Ringeltaube”. Pustka została wypełniona betonem.
2008	Herbolzheim (Breisgau)	Zapadlisko powstało w rejonie dawnej sztolni górniczej należącej do nieistniejącej już kopalni. Z powodu nieprzewidywalnego zdarzenia nastąpił zawał stropu sztolni tworząc rozległe zapadlisko.
2008	Droga krajowa 231 między Wettelrode a Morungen	W wyniku zawalenia się dawnego szybu kopalni (niezinwentaryzowanego) na powierzchni terenu powstało zapadlisko.
2008	Kahlenberg w Ringsheim	Na powierzchni terenu powstało zapadlisko o wymiarach: 25m głębokości i 25 m średnicy. Przyczyną powstania szkody było zawalenie się komory dawnej kopalni „Barbara”.

## Podsumowanie

Przedstawione w artykule przykłady powstałych deformacji nieciągłych typu powierzchniowego spowodowały szereg tragicznych skutków, nie tylko w formie uszkodzeń obiektów budowlanych, ale niestety także w postaci wypadków śmiertelnych. Przegląd szeregu zjawisk powstałych deformacji nieciągłych wskazuje jednoznacznie, że większość zagrożeń powstaje w wyniku błędów inżynierskich i uwzględnienia wiecznej stabilności wyrobisk podziemnych. Efekt ich aktywacji związany jest głównie ze zmianami warunków geotechnicznych i geomechanicznych w rejonie pola dawnej kopalni, w tym najczęściej ze zmianami warunków wodnych i działającym zwietrzeniem.

Zabezpieczenia podziemnych wyrobisk górniczych, w tym wzmocnienia ich stateczności, poprzez m.in. podsadzenie prowadzone są sukcesywnie, zarówno w Polsce, jak i Niemczech. Jednak, jak wykazuje praktyka dużym problemem jest brak szczegółowej wiedzy o lokalizacji wielu podziemnych wyrobisk górniczych (w tym szybów) i ich aktualnym stanie. Ze względu na przyszłościowe zagospodarowanie terenów pogórnich koniecznym jest stworzenie odpowiednich baz danych zlokalizowanych przy Urzędach Górniczych czy też odpowiednich organach władz lokalnych. Taki bank danych obejmujący ponad 10 tysięcy wyrobisk szybowych w Zagłębiu Ruhry zlokalizowany jest przy Urzędzie Górniczym w Dortmundzie. Następnie rejon te powinny zostać odpowiednio zbadane, zabezpieczone i monitorowane np. satelitarnie (InSAR) czy LiDAR.

The work presented in this paper was performed as part of the MERIDA project (Management of Environmental Risks During and After mine closure) supported by the RFCS under Contract No. RFCR-CT-2015-00004.

## Literatura

- [1] Bock B., Alber M., Rogall M., Wehinger A., 2016: *Untersuchungen zur Standsicherheit von Basaltspfeilern in Mending (Deutschland)*. BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte February 2016, 161 (2), s. 71-75.
- [2] Bock B., Alber M., Rogall M., Wehinger A., 2015: *Charakterisierung von Basalt zur Bewertung der Standsicherheit von untertägigen Hohlräumen in Mending*. 15. Altbergbaukolloquium, Leoben 2015, s. 147-157.
- [3] Wehinger A., Rogall M., 2012: *Erkundung und geotechnische Bewertung von Untertageanlagen ehemaligen Basaltbergbaus in Mending (Vordereifel)*. 12. Altbergbaukolloquium TU Clausthal. 8-10. November 2012, s. 257-271.
- [4] Wehinger A., 2012: *Gefahren durch Altbergbau in Rheinland-Pfalz*. Bergbau Folge Landschaft 6/2012, s. 255-260.
- [5] Tajduś K., Sroka A., 2007: *Analytic and numerical methods of sinkhole prognosis*. 7. Altbergbau Kolloquium Verlag Glückauf GmbH, Freiberg, ISBN 978-3-86797-006-8, s. 152-165.
- [6] <http://www.wikiwand.com/>
- [7] <http://www.spiegel.de/panorama/tagesbruch-fachsimelei-am-kraterrand-a-58426.html>
- [8] [http://www.ruhrnachrichten.de/nachrichten/vermischtes/aktuelles\\_berichte/Bergbaufolgen-in-NRW-So-fuehlt-sich-ein-Tagesbruch-in-naechster-Naechte-an;art29854,3003548](http://www.ruhrnachrichten.de/nachrichten/vermischtes/aktuelles_berichte/Bergbaufolgen-in-NRW-So-fuehlt-sich-ein-Tagesbruch-in-naechster-Naechte-an;art29854,3003548)
- [9] <http://www1.wdr.de/archiv/bergbau-spaetfolgen/bergbauschaden106.html>
- [10] <http://www.badische-zeitung.de/panorama/nach-erdruetsch-in-nachterstedt-weiterhin-akute-lebensgefah-17295622.html>

## The examples of surface risk discontinuous deformations occurring over the closed underground excavations

### Abstract

The article provides some examples of the surface-type discontinuous deformations that occurred on the ground surface in the regions of closed mines. The authors present a description of the conditions that led to the deformations and then the indicated mode of their restoration.

**Keywords:** discontinuous deformation, mine closing, geomechanics, sinkholes