

**Zeszyty Naukowe**Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią
Polskiej Akademii Nauk

rok 2019, nr 109, s. 173–184

DOI: 10.24425/znigsme.2019.130161

Katarzyna SZAFULERA¹, Marek JENDRYŚ², Marek KRUCZKOWSKI³

Ocena przydatności terenu do zabudowy ze względu na zagrożenie zapadliskami – studium przypadku

Streszczenie: W artykule przedstawiona została tematyka związana z oceną przydatności do zabudowy terenu zagrożonego występowaniem zapadlisk. Działka inwestycyjna, będąca przedmiotem analizy, znajduje się w centralnej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, gdzie w przeszłości prowadzona była płytka eksploatacja pokładów węgla kamiennego. Współcześnie jest to teren pogórnicy, zlokalizowany w dużej odległości od czynnych zakładów górniczych. Posiada atrakcyjną lokalizację administracyjną oraz dobre połączenie komunikacyjne z główną drogą łączącą miasta aglomeracji śląskiej. Te względy czynią ją szczególnie atrakcyjną w zakresie wykorzystania dla realizacji różnego rodzaju inwestycji. Czynniki geologiczno-górnicyzyczne w przedmiotowym rejonie nie są sprzyjające, głównie ze względu na prowadzoną w przeszłości płytką eksploatację górnicyzyczną oraz występujące na niedużej głębokości wyrobiska udostępniające o nieznanym sposobie likwidacji. Zaszłości te stawiają nieruchomości pewne ograniczenia w wykorzystaniu budowlanym, co do których zaleca się podjąć stosowne rozwiązania. Zgodnie z pracą (*Zasady... 2009*) dla terenów zlikwidowanych zakładów górniczych powinna zostać określona kategoria terenu górnicyzycznego ze względu na ograniczenie w wykorzystaniu budowlanym. Autorzy artykułu podjęli próbę jej wyznaczenia i w tym celu dokonali analizy warunków geologiczno-górnicyzycznych, w tym głównie prowadzonej w przeszłości eksploatacji górnicyzycznej. Na podstawie uzyskanych rezultatów oraz własnych doświadczeń ustalono rodzaj spodziewanych zagrożeń oraz ocenę zagrożenia zapadliskowego, którego miarą było prawdopodobieństwo wystąpienia zapadlisk wg metody Chudka-Ołaszowskiego (Chudek i in. 1988).

Słowa kluczowe: zapadliska, teren pogórnicyzyczny, budownictwo

¹ Politechnika Śląska, Wydział Górnicyzstwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej, Gliwice; ORCID iD: 0000-0001-7303-279X; e-mail: katarzyna.szafulera@polsl.pl

² Politechnika Śląska, Wydział Górnicyzstwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej, Gliwice; ORCID iD: 0000-0003-1159-1275.

³ Politechnika Śląska, Wydział Górnicyzstwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej, Gliwice; ORCID iD: 0000-0002-2779-3579.



© 2019. Autorzy. Jest to artykuł udostępniany w otwartym dostępie zgodnie z warunkami licencji międzynarodowej Creative Commons Uznanie autorstwa – Na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowa (CC BY-SA 4.0, <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), która zezwala na używanie, dystrybucję i reprodukcję na dowolnym nośniku, pod warunkiem, że artykuł jest prawidłowo cytowany.

Assessment of land development suitability taking the sinkhole hazard into account

Abstract: The article presents subject matter related to the assessment of the suitability of the built-up area, including the occurrence of sinkholes on the surface. The investment plot, which is the subject of the analysis, is located in the central part of the Upper Silesian Coal Basin, where shallow exploitation of coal seams was conducted in the past. At present it is a post-mining area, located at a large distance from active mines. It has an attractive administrative location and good transport connection with the main road connecting the cities of the Silesian agglomeration. These advantages make it particularly attractive in terms of use for various types of investments. The geological and mining factors are not favorable in the area in question, mainly due to the shallow mining exploitation conducted in the past and the access excavations on small depth and an unknown method of liquidation. These reasons are the cause of some restrictions in the use of construction, for which taking the appropriate solutions is recommended. According to the study of (Rules... 2009), the category of mining land should be defined for the areas of liquidated mining plants due to the limitation in construction use. The authors of the article made an attempt to determine it, and they analyzed the geological and mining conditions for this purpose, mainly including mining exploitation conducted in the past. On the basis of the obtained results and own experience, the type of expected hazards and its assessment were determined. The probability of the occurrence of the inclusions according to the Chudek-Olaszowski method (Chudek et al. 1988) was assumed as a measure of the hazard.

Keywords: sinkhole, post-mining area, civil engineering

Wprowadzenie

Prowadzenie podziemnej eksploatacji złóż węgla kamiennego, niezależnie od warunków geologiczno-górnich, powoduje powstawanie deformacji ciągłych, obserwowanych w postaci niecki obniżeniowej i jej pochodnych. Podziemna eksploatacja powoduje także powstawanie deformacji nieciągłych typu powierzchniowego (głównie zapadlisk) lub liniowego (stopnie terenowe, progi, szczeliny) na powierzchni (Chudek i Arkuszewski 1980a; 1980b; Chudek i in. 1988; Chudek 2002, 2010; Kowalski 2015, 2005; Malinowska i Hejmanowski 2016; Pilecka i Szermer-Zaucha 2014; Pilecki 2012). Deformacje te nie zawsze towarzyszą eksploatacji, a do ich powstania muszą zaistnieć odpowiednie warunki. Najważniejsze czynniki mogące spowodować występowanie deformacji typu powierzchniowego to: płytka eksploatacja górnicza z zawalem stropu (do głębokości 100 m), stare płytkie wyrobiska górniczne, w tym korytarzowe (do głębokości 100 m), niezlikwidowane lub źle zlikwidowane szyby i szybiki. W przypadku deformacji typu liniowego najważniejsze czynniki sprzyjające ich powstawaniu to: pokrywanie się krawędzi eksploatacyjnych w kilku pokładach i związana z tym nierównomierność wybrania złoża, występowanie wychodni uskoków tektonicznych na stropie karbonu przy niewielkiej miąższości warstw nadkładu. Analiza powstałych przypadków liniowych deformacji nieciągłych wskazuje również, że obecność wychodni piaskowców karbońskich na stropie karbonu może prowadzić do wystąpienia zjawiska sufozji i powstawania tego typu zjawisk (Kowalski 2005, 2015; Strzałkowski i Ścigała 2017; Pilecka i Szermer-Zaucha 2014).

Scharakteryzowane powyżej oddziaływanie robót górnich na powierzchnię w postaci deformacji nieciągłych obejmuje okres funkcjonowania kopalni oraz długi czas po jej likwidacji. Użytkowanie terenu górniczego, na którym występują deformacje nieciągłe, stanowi uciążliwość, i dotyczy to nie tylko obiektów już istniejących, ale również tych

projektowanych. Występowanie tego typu zagrożeń stanowić powinno jeden z głównych czynników decydujących o przydatności terenu do zabudowy. Polskie prawo nakłada na przedsiębiorcę obowiązek wskazania zagrożeń środowiskowych związanych z działalnością górnictwem w czasie istnienia zakładu górnictwa, jak również po zakończeniu wydobywania. W przypadku likwidowanych zakładów górnictwa przydatność terenu do zabudowy określają kategorie terenu górnictwa ze względu na ograniczenia dla celów budowlanych przedstawione w pracy (Zasady... 2009).

Artykuł przedstawia studium przypadku oceny przydatności do zabudowy terenu ze względu na zagrożenie powierzchni wystąpieniem deformacji nieciągłych. Przeprowadzona została analiza warunków geologicznych i górnictwa, a na jej podstawie dokonano oceny zagrożenia zapadliskowego wg metody Chudka-Olaszowskiego (Chudek i in. 1988; Bell 1998). Na podstawie wyników analiz dokonano oceny przydatności terenu do zabudowy w oparciu o zasady klasyfikacji terenów pogórnictwa (Zasady... 2009).

1. Charakterystyka rejonu badań

Działka, będąca przedmiotem badań, znajduje się w centralnej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, gdzie w przeszłości prowadzona była płytko eksploatacja pokładów węgla kamiennego. Jak wynika z dokumentacji mapowej udostępnionej przez Archiwum Wyższego Urzędu Górniczego, kilkanaście metrów od południowo-zachodniej granicy działki znajdował się szyb L wraz z zabudowaniami, który zlikwidowano w nieznanym autorom czasie. Współcześnie jest to teren, w którym nie prowadzi się eksploatacji podziemnej. Posiada on atrakcyjną lokalizację administracyjną oraz dobre połączenie komunikacyjne z główną drogą łączącą miasta aglomeracji śląskiej. Te względy czynią go szczególnie atrakcyjnym w zakresie wykorzystania dla realizacji różnego rodzaju inwestycji. Lokalizację przedmiotowego terenu wskazano na rysunku 1.



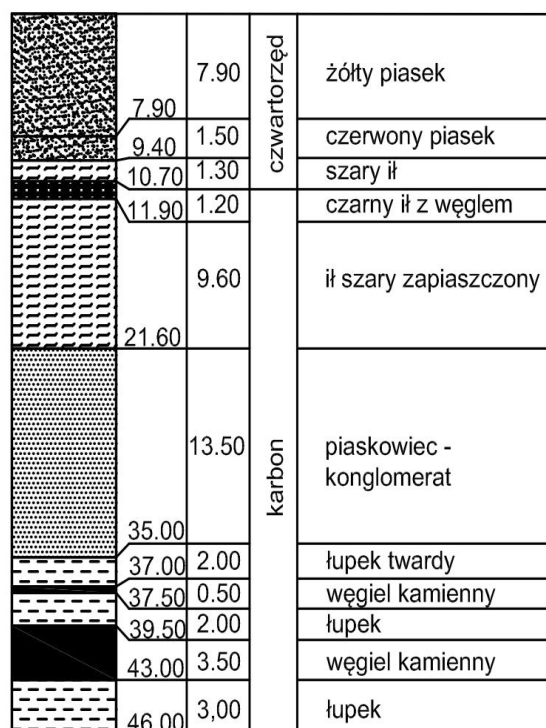
Rys. 1. Widok ogólny analizowanego terenu

Fig. 1. General view of the analyzed area

2. Analiza warunków geologiczno-górnictwowych

2.1. Litologia i stratygrafia, tektonika

Budowa geologiczna górotworu ustalona została na podstawie profilu szybu L (Materiały... 2018) zlokalizowanego w bezpośrednim sąsiedztwie działki oraz wykonanych w 2017 roku wierceń. Górotwór w rejonie działki zbudowany jest z warstw nadkładu oraz karbonu. W budowie nadkładu udział biorą utwory czwartorzędu, reprezentowane głównie przez piaski i ropy. Wyniki wierceń (Materiały... 2018) wskazują, że współcześnie w przypowierzchniowej części górotworu występuje warstwa nasypu niekontrolowanego, zbudowanego głównie z piasku, kamieni, spieków oraz kawałków cegieł. Miąższość nasypu wynosi od ok. 2 m w południowo-wschodniej części działki do ok. 9 m w jej północno-zachodnim fragmencie. Jest to najprawdopodobniej skutek likwidacji nadszybia wraz z budynkami przyszybowymi. W budowie geologicznej karbonu do głębokości ok. 100 m udział biorą warstwy siodłowe wykształcone w postaci naprzemianległych łupków i piaskowców wraz z pokładami węgla grupy 500. Na głębokości poniżej 200 m rozpoczynają się warstwy porębskie. Profil litologiczny szybu L i karty otworu wiertniczego pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Profil litologiczny szybu L (Archiwum WUG 2018)

Fig. 2. The lithological profile of the shaft L

We wschodniej części działki przebiega lokalny uskoki. Zrzuca warstwy karbońskie w kierunku północno-zachodnim o wysokość 5 m. Zaleganie warstw i pokładów węgla kamiennego charakteryzuje znaczna zmienność rozciągłości warstw i upadu.

2.2. *Dokonana eksploatacja górnicza*

Bezpośrednio w granicach działki inwestycyjnej w przeszłości prowadzone były liczne roboty górnicze (Materiały 2018). Eksploatację pokładów węgla kamiennego prowadzono w XIX wieku w trzech pokładach warstw siodłowych: 504, 507, 510 na głębokości od około 40 m do około 100 m, na grubość od około 2,5 m do około 4 m. Była to eksploatacja z zawałem skał stropowych. Eksploatacja prowadzona również była w pokładzie 615, w latach 1948–1949 na głębokości około 230 m, przy czym wybierano warstwę o grubości około 1 m. Była to również eksploatacja systemem zawałowym.

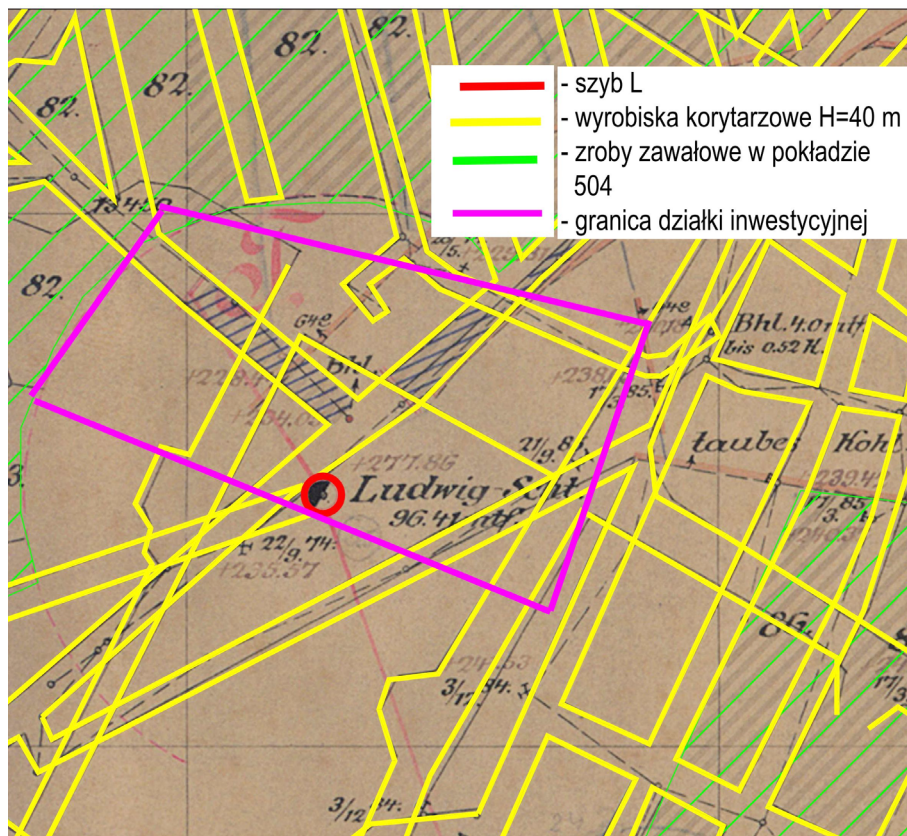
Jednak największe zagrożenie z punktu widzenia zagrożenia zapadliskowego i związanej z nim przydatności terenu do zabudowy stanowią liczne wyrobiska korytarzowe, a w szczególności ich skrzyżowania, prowadzące do szybu. Są to chodniki wykonane najprawdopodobniej w obudowie drewnianej zlokalizowane na głębokościach około 40 m, 70 m oraz 80 m. Bogata literatura (Kowalski 2015; Pilecki 2012; Strzałkowski 2010, 2015; Szafuła 2011) dotycząca dawnego kopalnictwa wskazuje, że wymiary takich wyrobisk sięgają około 2,5 m wysokości i około 3 m szerokości. Są to wyrobiska zazwyczaj niezlikwidowane. Układy wyrobisk korytarzowych w najpłytszym pokładzie 504 pokazano na rysunku 3.

3. *Ocena przydatności terenu do zabudowy według klasyfikacji terenu likwidowanych kopalń*

Korzystając z pracy (Zasady... 2009), w której podano klasyfikację dotyczącą likwidowanych terenów górniczych ze względu na ograniczenia w wykorzystaniu dla celów budowlanych, podjęto próbę zaklasyfikowania analizowanego rejonu do właściwej zdaniem autorów kategorii. Oceniono przy tym stopień przekształcenia poeksploatacyjnego oraz rodzaj zagrożenia.

Mając na uwadze, że działka będąca przedmiotem analizy znajduje się w rejonie płytkiej eksploatacji górniczej oraz w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobiska mającego połączenie z powierzchnią, którym był szyb L, Autorzy uznali, że zagrożeniem decydującym o ograniczeniu w wykorzystaniu budowlanym są deformacje nieciągłe typu powierzchniowego. Celem określenia stopnia zagrożenia zapadliskowego wykonane zostały szczegółowe analizy, których wyniki przedstawiono w podrozdziale 3.1 i 3.2.

Z uwagi, że działka znajduje się również w rejonie krawędzi eksploatacyjnych w 4 pokładach i związaną z tym zróżnicowaną miąższością wybrania złoża (ok. 11 m) oraz występowania wychodni uskoku tektonicznego o $h = 5$, m rozważona została możliwość powstawania liniowych deformacji nieciągłych, którą na podstawie dotychczasowych doświadczeń uznano za niewielką (Kowalski 2015, 2005).



Rys. 3. Układ wyrobisk korytarzowych w pokładzie 504 (Archiwum WUG 2018)

Fig. 3. Arrangement of roadways in coal bed 504

W celu ustalenia zagrożenia powstawaniem deformacji nieciągłych typu powierzchniowego, poddane zostały analizie pokładowe mapy górnicze pod kątem wyznaczenia obszarów płytkiej eksploatacji oraz występujących płytkich wyrobisk korytarzowych. Warunkiem koniecznym do wystąpienia na powierzchni zapadliska jest występowanie w górotworze pustki. Jak wskazują doświadczenia praktyczne oraz wyniki dotychczasowych badań, jako granicę zagrożenia ze strony płytkich wyrobisk górniczych należy przyjąć głębokość około $H = 100$ m. Oczywisty jest fakt, że zagrożenie zapadliskowe maleje wraz ze wzrostem głębokości, dlatego też w celu określenia największego zagrożenia, na podstawie którego działka zostanie zaliczona do właściwej kategorii, analizy przeprowadzone zostały dla wyrobisk znajdujących się najpłycej. O stopniu zagrożenia decyduje również obecność i rozmiar zapadlisk stwierdzonych w przeszłości, co do których nie ma informacji. Dlatego też w celu precyzyjnego określenia stopnia zagrożenia Autorzy posłużyli się rozwiązaniami analitycznymi, na podstawie których określili prawdopodobieństwo powstania zapadliska – podrozdział 3.1 oraz wyznaczyli strefę zagrożoną wystąpieniem zapadliska w rejonie szybu L w podrozdziale 3.2.

3.1. Metoda M. Chudka–W. Ołazowskiego

Metoda pozwala na prognozowanie deformacji nieciągłych typu powierzchniowego. Należy do najczęściej stosowanych w warunkach GZW. Podstawowe założenia tej metody opisane zostały w pracach (Chudek i in. 1988; Chudek 2002, 2010; Strzałkowski 2010; Szafuła 2011). Z tych względów, jak i wymogów objętościowych artykułu, poniżej podane zostały wyłącznie te informacje, które pozwoliły ocenić stopień zagrożenia zapadliskowego analizowanej działki. Wyniki uzyskanych obliczeń przedstawione zostały w tabeli 1.

Autorzy metody (Chudek i in. 1988) założyli, że po samopodsadzeniu się pustki powstają nad nią dwie strefy: zawału i spękań (rys. 4). Wysokość strefy zawału określa poniższy wzór:

$$W_z = g \frac{4(k+1) - \pi(k-1)}{2\pi(k-1)} \quad (1)$$

gdzie:

- W_z – maksymalna wysokość strefy zawału [m],
- k – współczynnik rozluźnienia skał w strefie zawału [–],
- g – wysokość pustki pierwotnej (wyrobiska) [m].

Warunkiem wystarczającym wystąpienia zapadliska, jest spełnienie nierówności:

$$w_z \geq H - h \quad (2)$$

gdzie:

- H – głębokość wyrobiska odniesiona do jego stropu [m],
- h – grubość nadkładu [m].

Wysokość strefy spękań wyraża równanie:

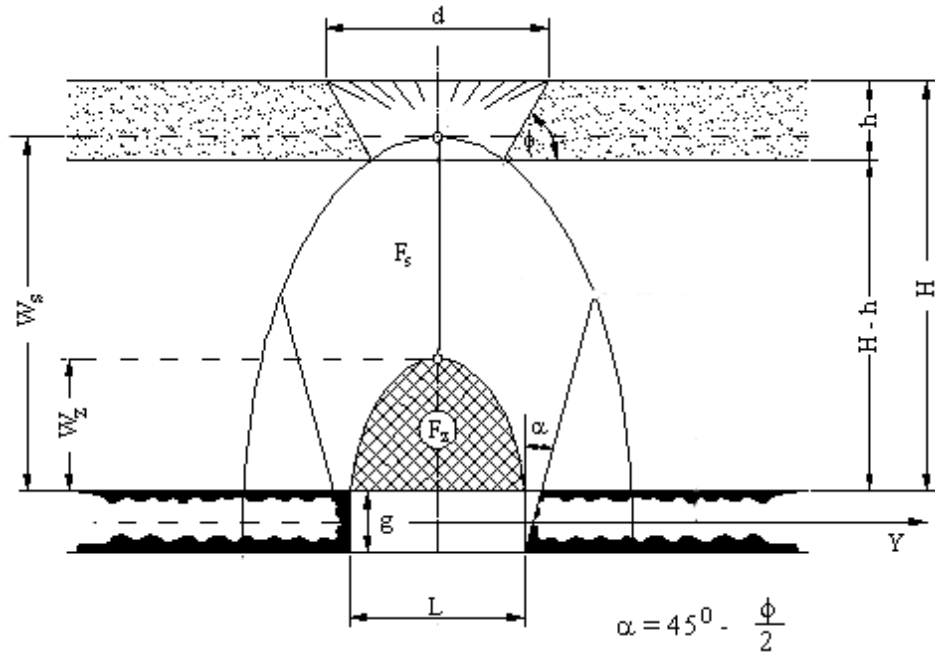
$$w_s = \pm M \sqrt{\frac{(L + g \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2 (M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + 1) g}{4(1 - M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha)}} \frac{g}{2} \quad (3)$$

gdzie:

- L – szerokość pustki (wyrobiska poeksploatacyjnego) [m],
- φ – kąt tarcia wewnętrzznego [°],
- $M = a/b$,
- a – oś pionowa elipsy ciśnień,
- b – oś pozioma elipsy ciśnień.

W przypadku, gdy strefa spękań osiąga skały luźnego nadkładu zapadlisko może, lecz nie musi powstać.

W praktyce łatwiej jest posługiwać się uproszczonym sposobem prognozy, sprowadzającym się do obliczania wartości wskaźnika **Z**. Wskaźnikowi temu odpowiada wartość



Rys. 4. Obrys strefy zawalu i spękań nad pustką w górotworze (Chudek i in. 1988; Chudek 2002, 2010; Strzałkowski 2010)

Fig. 4. Range of cave and cracks zone in rock mass

prawdopodobieństwa wystąpienia zapadliska, którą można odczytać z tabeli lub obliczyć za pomocą wielomianu (5). Wskaźnik wyznaczamy w oparciu o wzór:

$$Z = \frac{H-h}{g} \quad (4)$$

Wartość prawdopodobieństwa P , wystąpienia zapadliska, wyraża funkcja:

$$P = 0,0002 \cdot Z^2 - 0,0369 \cdot Z + 1,3473 \quad (5)$$

Odnosząc się do uzyskanych wyników obliczeń, należy stwierdzić, że w analizowanym rejonie prawdopodobieństwo powstania zapadliska jest bardzo wysokie. Mając to na uwadze, przyjmując pewien margines bezpieczeństwa, proponuje się, aby stopień zagrożenia wystąpieniem zapadliska określić jako duży. Pozwala to zaklasyfikować ten teren, z uwagi na płytką eksploatację w przedziale głębokości od 0–50 m i związane z tym zagrożenia zapadliskowe, do **kategorii B_{2,3}**.

TABELA 1. Wyniki obliczeń wg metody M. Chudka i W. Olszowskiego

TABLE 1. Calculation results according to the method of M. Chudek and W. Olszowski

Dane do obliczeń: $H = 40$ m, $h = 11$ m, $g = 2,5$ m, $L = 3$ m, $k = 1,1$ *	
W_z [m]	19,75
Z [-]	12,6
P [-]	0,91

* Wartość współczynnika k została przyjęta, ze względu na stosunkowo niską wytrzymałość skały w stropie wyrobiska oraz głębokość.

3.2. Metoda określenia strefy zagrożonej wystąpieniem zapadliska w rejonie wyrobiska mającego połączenie z powierzchnią

Zapadliska na terenach pogórnictwa mogą powstać również na skutek utraty stateczności niewłaściwie zlikwidowanych szybów. Prawdopodobieństwo powstania powierzchniowej deformacji nieciągłej w rejonie zlikwidowanego szybu rośnie wraz z upływem czasu w związku z rozwojem procesów fizykochemicznych zachodzących w górotworze, pomimo zamknięcia jego zrębu płytą żelbetową. Zdarza się również, że w wyrobisku szybowym zlikwidowanym przez zasypanie, powstanie pustki jest skutkiem migracji materiału użytego do wypełnienia szybu. W rezultacie tych zdarzeń teren w bezpośrednim otoczeniu szybu może ulec obniżeniu, a w skrajnym przypadku w sposób nagły powstać może zapadlisko.

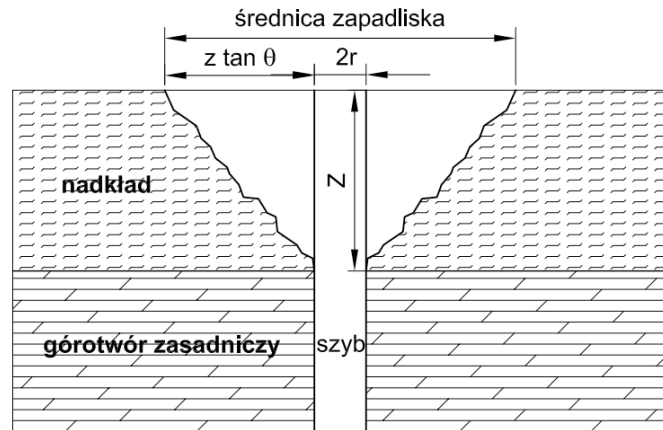
Jednym z istotnych parametrów charakteryzujących stopień zagrożenia powstaniem zapadliska jest jego średnica. Za pracami (Bell 1988; Pilecki 2012) ustalono na drodze obliczeniowej możliwą maksymalną średnicę zapadliska D , którą można wykorzystać do określenia strefy ochronnej wokół szybów i szybków, w rejonie której na powierzchni może powstać zapadlisko. Wyznaczyć ją można na podstawie rozwiązania F.G. Bella opisanego równaniem (6) (rys. 5):

$$D = 2 \cdot z \cdot \operatorname{ctg} \phi + 2r \quad (6)$$

gdzie:

- z – grubość luźnego nadkładu,
- ϕ – kąt tarcia wewnętrznego,
- r – promień szybu.

Odnosząc się do uzyskanych wyników obliczeń, należy stwierdzić, że z uwagi na występowanie przy południowej granicy działki, szybu L o nieznanym sposobie likwidacji, strefa zagrożona wystąpieniem zapadliska w przypadku utarty stateczności szybu obejmuje ok. 59 m. Mając to na uwadze, proponuje się, aby strefa objęta **kategorią C** ustalona została



Rys. 5. Wyznaczenie strefy zapadliska w luźnym nadkładzie (Pilecki 2012)

Fig. 5. Determination of sinkhole zone in loose overburden

TABELA 2. Wyniki obliczeń wg rozwiązania (6)

TABLE 2. Calculation results according to the solution (6)

Dane do obliczeń: $z = 11$ m, $\varphi = 25^\circ$, $r = 3$ m	
D [m]	59

w miejscu lokalizacji szybu (średnica szybu), strefa objęta **kategorią B_{2,3}** – ustalona zostanie wokół miejsca lokalizacji szybu, a jej szerokość powinna być równa obliczonej na podstawie wzoru (6) maksymalnej średnicy zapadliska. Dodatkowo zakładając pewien margines bezpieczeństwa przyjąć strefę z **kategorią B_{2,2}**, która stanowi obszar zewnętrznego pasa bezpieczeństwa, którego szerokość równa jest 10 m.

Podsumowanie

Zagrożenie deformacjami nieciągłymi jest i będzie aktualnym problemem terenów górniczych kopalń węgla kamiennego zarówno czynnych, jak i zlikwidowanych. Oceniając kategorię terenu górniczego likwidowanej kopalni ze względu na uwarunkowania budowlane zgodnie z pracą (Zasady... 2009) zaleca się uwzględniać każdorazowo warunki geologiczno-górnicze i związane z nimi przekształcenia poeksploatacyjne. Wynikające z nich zagrożenia decydują o przydatności do zabudowy, które zwłaszcza w terenach inwestycyjnych stają się kluczowe przy podejmowaniu wielu decyzji.

Rozpatrywany teren można zaliczyć do **kategorii B_{2,3}** (teren przydatny warunkowo) lub nawet **C** (nieprzydatny do zabudowy). Szczegółowe analizy przeprowadzone w ramach pracy wskazują, że:

- 1) Przy ustaleniu **kategorii B_{2,3}** zaleca się, aby przed zagospodarowaniem przestrzennym wykonać badania geofizyczne dla oceny stanu górotworu przed i po wykonaniu prac uzdatniających. Potwierdzić pustki za pomocą otworów badawczych (likwidacja pustek w górotworze – iniekcja grawitacyjna i/lub stref spękań i rozluźnień – iniekcja ciśnieniowa). Badania geofizyczne powinny zostać wykonane co najmniej dwiema metodami. Wymaga się, aby badania geofizyczne miały dużą rozdzielczość i zasięg głębokościowy do kilkunastu metrów oraz mniejszą rozdzielczość do głębokości kilkudziesięciu metrów w zależności od głębokości stanowiącej zagrożenie wystąpieniem deformacji nieciągłych.
- 2) Przy ustaleniu **kategorii C** zaleca się wyłączyć działkę z zabudowy i wykorzystać teren w kierunku innym niż budowlany np. tereny zielone, rekreacyjne, parki itp.
W sytuacji podejmowania decyzji w sprawie zagospodarowania przestrzennego analizowanej działki należy również wziąć pod uwagę występowanie w przypowierzchniowej warstwie górotworu zróżnicowanej pod względem miąższości warstwy niekontrolowanego nasypu.

Literatura

- Bell, F.G. 1988. Land development. *State of the art in location of old mine shafts Bulletin of the Int. Association of Engineering Geology* 37.
- Chudek, M. 2002. *Geomechanika z podstawami ochrony środowiska górniczego i powierzchni terenu*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- Chudek, M. 2010. *Mechanika górotworu z podstawami zarządzania ochroną środowiska w obszarach górniczych i pogórniczych*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- Chudek, M. i Arkuszewski, J. 1980a. Identyfikacja deformacji zapadliskowych w obszarach dawnej i płytkiej eksploatacji górniczej na terenie Górnosląskiego Okręgu Przemysłowego. *Budownictwo Węglowe* nr 4.
- Chudek, M. i Arkuszewski, J. 1980b. Wpływ warunków naturalno-górniczych oraz czasu na proces tworzenia się deformacji zapadliskowych. *Ochrona Terenów Górniczych* nr 53.
- Chudek M. i in. 1988 – Chudek, M., Janusz, M. i in. 1988. Studium dotyczące stanu rozpoznania tworzenia się i prognozowania deformacji nieciągłych pod wpływem podziemnej eksploatacji złóż. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo* z. 141.
- Kowalski, A. 2005. O liniowych nieciągłościach powierzchni. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie* nr 12.
- Kowalski, A. 2015. *Deformacje powierzchni w Górnosląskim Zagłębiu Węglowym*. Katowice: Główny Instytut Górnictwa.
- Malinowska, A. i Hejmanowski, R. 2016. The impact of deep underground coal mining on earth fissure occurrence. *Acta Geodynamika Geomaterial* t. 13, nr 4.
- Materiały udostępnione przez Archiwum WUG, 2018.
- Pilecka, E. i Szermer-Zaucha, R. 2014. Analiza wpływu uskoku Rydułtowskiego na szkody górnicze spowodowane wstrząsami z dnia 21.04.2011 i 07.06.2013 lokalnej tektoniki w powiązaniu z uszkodzeniami budynków wynikającymi z wystąpienia wysokoenergetycznego wstrząsu w dniu 9 lutego 2010 roku w KWK „Piast”. *Przegląd Górniczy* nr 6, s. 60–66.
- Pilecki, Z. 2012. *Zagrożenie deformacjami nieciągłymi na obszarze górniczym Jaworzno III*. Kraków: Wyd. IGSMiE PAN.
- Strzałkowski, P. 2010. *Zarys ochrony terenów górniczych*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- Strzałkowski, P. 2015. *Górnictwo ogólne*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- Strzałkowski, P. i Piwowarczyk, J. i in. 2006. Występowanie deformacji nieciągłych liniowych w świetle analiz warunków geologiczno-górniczych. *Przegląd Górniczy* nr 5.

- Strzałkowski, P. i Ścigała, R. 2017. The causes of mining induced ground steps occurrence – case study from Upper Silesia in Poland. *Acta Geodynamika Geomaterial* t. 14, nr 3 (187), s. 305–312, DOI: 10.13168/AGG.2017.0013.
- Szafuła, K. 2011. *Wpływ eksploatacji górniczej na stateczność płytkich wyrobisk porudnych i występowanie deformacji nieciągłych*. Praca doktorska (niepublikowana), Gliwice.
- Woźniak, H. i Nieć M. red. 2009. *Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla celów likwidacji kopalń*. Warszawa: Ministerstwo Środowiska.