

Metodyka oceny zagrożeń ze strony opuszczonych szybów górniczych

Methodology for assessing risks posed by abandoned mine shafts



Dr inż. Adam Frolik^{*)}



Dr inż. Andrzej Kotyrba^{*)}

Treść: W artykule przedstawiono charakterystykę zagrożeń geotechnicznych, jakie stwarzają opuszczone szyby górnicze oraz metodykę ich oceny. Z chwilą zaprzestania eksploatacji wyrobiska szybowe stały się zbędne i pozbawione kontroli. Znaczną część z nich zlikwidowano przez zasypanie, część jedynie zabezpieczono na wlocie i zapomniano. Pozostawienie pustych szybów stwarza zagrożenie wystąpieniem zapadlisk powierzchni w miejscach ich usytuowania oraz bliskim otoczeniu. Problem ten występuje na terenach zlikwidowanych kopalń podziemnych całego świata. W warunkach polskich, z uwagi na skalę wydobycia kopalin, jest szczególnie istotny na terenach śląskich zagłębi węglowych (GZW, DZW), w obrębie których prowadzono intensywną eksploatację różnych kopalin. Szacowanie zagrożenia oparto na wieloparametrowej metodzie punktowej, która pozwala na zaliczenie danego wyrobiska do określonego stopnia czteropoziomowej skali (I-IV). W zależności od niego skwantyfikowano ryzyko w ujęciu ekonometrycznym.

Abstract: This paper gives a description of geotechnical hazards posed by abandoned mining shafts and a hazard assessment methodology. Upon the cessation of mining, shafts have become redundant and out of control. A significant part of them were liquidated by filling but another part was secured at the inlet and forgotten. Leaving empty shafts poses a threat of sinkholes forming in their location and close proximity. This problem occurs in the areas of underground mines closed down all over the world. In Polish conditions, given the scale of mineral exploitation, the problem is particularly important in the areas of the Silesian coal basins (Upper Silesian Coal Basin -USCB, Lower Silesian Coal Basin- LSCB), within which there were intensive exploitation of various minerals. The risk estimation is based on multi-parameter point method which allows for the inclusion of specified shaft to a certain degree of four-level hazard scale (I-IV). Depending on the hazard rating the risk is quantified in econometric terms.

Słowa kluczowe:

opuszczone szyby, powierzchnia, zapadliska, zagrożenie, ryzyko, kwantyfikacja

Key words:

abandoned shafts, surface, sinkholes, hazard, risk, rating

1. Wprowadzenie

Najstarsze informacje o eksploatacji kopalin metodą podziemną w Polsce pochodzą z czasów prehistorycznych (paleolit) i dotyczą wydobywania krzemieni używanych do produkcji narzędzi i ozdób. W czasach nowożytnych najczęściej metodą podziemną wydobywano sole kamienne i rudy metali. Początki górnictwa na Górnym Śląsku sięgają XII wieku [4]. Każdy rodzaj górnictwa wymagał wykonania wyrobisk udostępniających złoża podziemne. Były nimi szyby lub sztolnie. Dopóki złoża występowały na małej głębokości wyrobiska udostępniające w utworach skalistych można było

wykonywać bez obudowy prostymi technikami urabiania. Wraz ze zwiększaniem się głębokości wyrobisk udostępniających ich drążenie wymagało stosowania materiałów wybuchowych, a do utrzymania stateczności ścian konieczne było stosowanie obudowy. Tak więc technologia budowy szybów górniczych ewoluowała w czasie.

Początkowo do obudowy używano drewno. Zdjęcie (rys. 1) pokazuje szyb z XIX wieku w obudowie drewnianej odsłonięty w wykopie budowlanym autostrady A1 [7].

W okresie późniejszym obudowy wykonywano z cegły, a w XX wieku zaczęto stosować beton lub prefabrykowane elementy betonowe (bentonit). Materiały te dominują we współczesnych szybach górniczych, których głębokość na terenach GZW przekracza już 1000 m. Stare szyby,

^{*)} Główny Instytut Górnictwa w Katowicach.



Rys. 1. Zasypany rodzimym gruntem szyb w obszarze występowania złóż cynku i ołowiu w Bytomiu-Dąbrowie

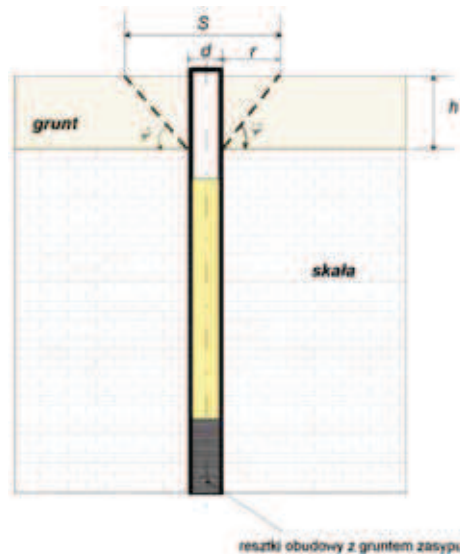
Fig. 1. Shaft backfilled with natural soil in the area of occurrence of zinc and lead deposits in Bytom-Dąbrowa

w zależności od czasu budowy i przeznaczenia (rozpoznawczy, wydobywczy, wentylacyjny) miały różny kształt od kwadratu poprzez prostokąty i elipsy do koła, ich rozmiary (średnica koła, dłuższa oś elipsy albo długość prostokąta) wynosiły od 1 do 6 metrów. O usytuowaniu szybów wykonanych do połowy XIX wieku wiemy jedynie z historycznych opisów i przypadkowych odkrywek. Dopiero wtedy zaczęto dokumentować ich położenie geodezyjnie na mapach górniczych sposobami zbliżonymi do dzisiejszych. Nie znaczy to wcale, że możemy ustalić ich położenie w terenie obecnie. Dokładność sytuacyjna starych map górniczych jest dużo mniejsza od współczesnych, ponadto na tych mapach jest wiele pomyłek wynikających z podobieństwa nazw nadawanych szybom, a później tłumaczenia ich z języka niemieckiego na polski. Często też szyby były zlokalizowane blisko siebie, co powodowało pomyłki, osób kreślących mapy ręcznie w opisach nazw.

2. Zagrożenie powierzchni deformacjami

Opuszczony szyb górniczy niezależnie od tego, czy został zlikwidowany, czy nie zawsze stwarza potencjalne zagrożenie powierzchni deformacją. Skala tego zagrożenia i rozmiar deformacji zależne są w dużej mierze od tego, w jakim stanie pozostawiono szyb i jakie było jego przeznaczenie oraz od lokalnych warunków geologiczno-inżynierskich. Naruszenie ciągłości obudowy, które może nastąpić w wyniku działania czynników środowiskowych skutkuje jej przemieszczeniem do wnętrza wraz z otaczającym gruntem. Szyby drażnione dla potrzeb rozpoznania złoża (badawcze) nie miały często połączeń z wyrobiskami poziomymi. Z kolei od szybów użytkowanych jako wydobywcze lub wentylacyjne odchodziło zwykle wiele wyrobisk udostępniających złoża. Szyby górnicze likwiduje się przez zasypywanie ich materiałem gruntowym lub skalnym. Rodzaj użytego materiału ma duże znaczenie dla zachowania szybu w przyszłości.

W teoretycznym opisie i analizie deformacji powierzchni, które może spowodować niezasypany szyb górniczy wyróżnić można dwa przypadki różniące szyby na takie, od których nie odchodzi wyrobiska poziome (badawcze) oraz takie które mają łączności z wyrobiskami poziomymi (wentylacyjne, wydobywcze). Modele analityczne procesów samopodsadzania się takich szybów w dwuwarstwowym ośrodku geologicznym (grunt, skała) przedstawione są odpowiednio na rysunkach 2 i 3.

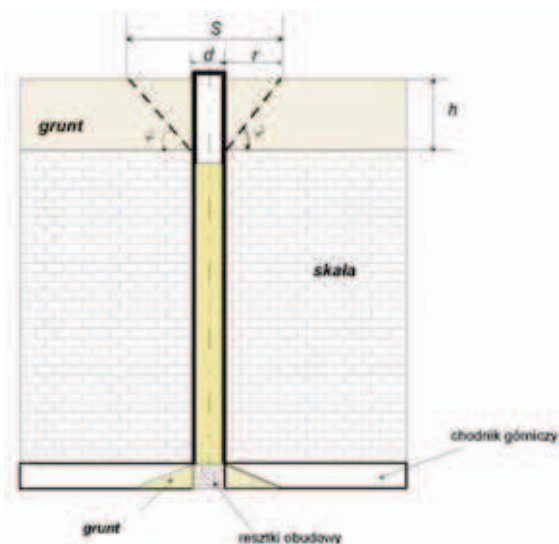


Rys. 2. Zapadlisko w formie lejki o przekroju kołowym nad pustym, badawczym szybem górniczym

Fig. 2. Sinkhole in a form of local depression with circular cross section over an empty exploratory shaft

W przypadku szybu, który nie ma połączenia z wyrobiskami poziomymi, pojemność dla gruntu zasypowego jest zdefiniowana wymiarami geometrycznymi pustki w szybie.

Inne warunki istnieją w rejonie szybu, od którego odchodzi wyrobiska górnicze (szyby wydobywcze, wentylacyjne). Pojemność takich szybów dla gruntu zasypowego jest zależna również od objętości pustek w wyrobiskach podziemnych z nim połączonych.



Rys. 3. Zapadlisko w formie lejki o przekroju kołowym nad pustym szybem górniczym połączonym z wyrobiskami poziomymi

Fig. 3. Sinkhole in a form of local depression with circular cross section over an empty shaft connected with horizontal excavations (galleries)

Rozmiar lejki powstającego w procesie samolikwidacji szybów zależy od rodzaju luźnych gruntów w nadkładzie, ich miąższości i własności. Jego średnicę s dla szybu o przekroju kołowym w przybliżeniu opisuje zależność w postaci wzoru 1 [1].

$$s = d + 2htg\varphi \quad (1)$$

gdzie:

- d – średnica szybu,
- h – miąższość gruntów luźnych,
- φ – kąt tarcia wewnętrznego gruntu.

Jakość szacowania rozmiaru leja zapadliskowego za pomocą wzoru 1 jest relatywnie dobra dla szybów badawczych (nie mających połączenia w wyrobiskami poziomymi). Doświadczenia praktyczne wskazują, że jest ona niewiele gorsza w przypadkach szybów wentylacyjnych i wydobywczych.

W przypadku szybów zlikwidowanych przez zasypanie materiałem gruntowym zagrożenie powierzchni spowodowane jest głównie brakiem możliwości kontroli prowadzenia prac zasypowych. W trakcie tych prac pozostawione elementy infrastruktury szybowej (pomosty, rury) mogły w jakimś interwale zaklinować prześwit rury szybowej powodując, że w szybie pozostawiono pustkę. Może to spowodować nagle grawitacyjne przemieszczenie gruntu zasypowego w rurze szybowej, naruszenie ciągłości obudowy i wystąpienie deformacji zapadliskowych podobnych do rejestrowanych w rejonach szybów niezlikwidowanych (pustych).

3. Ocena parametryczna szybu

Podstawowym dokumentem źródłowym do oceny zagrożenia powierzchni ze strony szybu powinna być jego karta informacyjna zawierająca komplet danych o wyrobisku, charakteryzujących jego lokalizację, budowę, użytkowanie i likwidację. W ramach tego dokumentu powinny być zamieszczone dodatkowe informacje o szybie, w tym:

- Mapy powierzchni,
- Schemat konstrukcji wyrobiska (szybu),
- Przekrój tarczy szybowej,
- Dane geologiczne,
- Dane górnicze, stare i/lub nowe mapy.

4. Badania szybu

Podstawowymi metodami rozpoznania warunków w rejonie opuszczonych szybów są:

- kartowanie geologiczne
- badania geofizyczne

4.1. Kartowanie geologiczne

Kartowanie geologiczne powierzchniowe przekształceń górniczych terenu przeprowadza się w celu ustalenia aktualnego stanu:

- a) morfologii terenu: zasięgów niecek obniżeniowych, występowania progów, zapadlisk, szczelin, hałd i osadników oraz innych górniczych przekształceń terenu,
- b) warunków hydrograficznych: aktualne położenie zwierciadła wody, kierunki przepływu i zasięgi wód powierzchniowych, obszary istniejących podtopień i ich relacje względem rejonu analizowanego szybu.

- Zakres prace kartograficznych powinien obejmować, m.in.:
- prace geodezyjne i fotogrametryczne,
 - weryfikację i aktualizację danych kartograficznych o zagospodarowaniu powierzchni,
 - lokalizowanie, opis, rysunek lub zdjęcie fotograficzne powierzchniowych punktów dokumentacyjnych – odsłonięcia, wysięki wód itp.,
 - wyznaczanie granic geologicznych (w nawiązaniu do szczegółowej fotointerpretacji stereogramów lub ortofotomapy),

- pomiary biegu i upadu warstw oraz kierunków spękań,
- lokalizowanie, opis, rysunek lub zdjęcie fotograficzne form geomorfologicznych z uwzględnieniem zaburzeń powierzchni terenu,
- lokalizowanie, opis i wykonanie szkiców form geodynamicznych (leje i zapadliska, szczeliny i progi terenowe, kras, osuwiska, osiadanie zapadowe w lessach, sufozja, erozja, abrazja itp.,
- profilowanie wyrobisk (jeśli istnieje do nich dostęp).

Wiercenia i sondowania geologiczne należy wykonywać w przypadkach niejednoznaczności w interpretacji wyników geofizycznych, dla dokładnego określenia rodzaju i stanu zasypu oraz jego zawodnienia.

4.2. Badania geofizyczne

Odszukania miejsca usytuowania starych szybów w terenie w większości przypadków jest zadaniem trudnym. Często więc kartowanie geologiczne nie pozwala na wskazanie miejsca położenia szybu. Jest to spowodowane zmianą sposobu zagospodarowania powierzchni, która nastąpiła po opuszczeniu szybu oraz naturalnymi (zalesienie) lub antropogenicznymi przeobrażeniami powierzchni ziemi (nasypy, zabudowa). Z powyższych względów badania geofizyczne wykonuje się w celu zlokalizowania położenia szybu w terenie oraz oceny stanu, w jakim został on pozostawiony w środowisku geologicznym. W szczególności zadaniem badań geofizycznych jest stwierdzenie, czy i jakim sposobem szyb został zlikwidowany (zasypany), czy materiał zasypowy jest właściwie zagęszczony i czy w obrębie rury szybowej nie występują pustki. Pustki takie mogą pozostać w szybie ze względu na niewłaściwą technologię prac likwidacyjnych oraz/lub destrukcyjne oddziaływanie wody na obudowę i grunt zasypowy.

W badaniach starych szybów stosowane są analogiczne metody geofizyczne jak do detekcji pustek w środowisku geologicznym. Żadna z dotychczas zastosowanych w tej problematyce metod nie pozwala na detekcję szybu wprost. Biorąc pod uwagę, że średnice starych szybów mogą się zmieniać od 1 do 6 m, efektywne zastosowanie metod geofizycznych wymaga wykonywania pomiarów o dużej szczegółowości (gęstości punktów lub linii pomiarowych). W doborze gęstości zdjęcia geofizycznego podstawowym kryterium jest odległość pomiędzy punktami lub liniami pomiarowymi, która nie powinna być mniejsza od średnicy czy też długości mniejszej od osi elipsy (szyb o przekroju eliptycznym) względnie długości mniejszego boku w przypadku szybów o przekroju prostokątnym.

O możliwości wykrycia szybu decyduje różnica własności fizycznych pomiędzy materiałem zasypowym a ośrodkiem geologicznym. Analiza doświadczeń z praktycznych zastosowań metod geofizycznych do detekcji szybów wskazuje, że w przypadku szybów niezasypanych (pustka w rurze szybowej) efektywność każdej z możliwych metod jest wysoka pod warunkiem wykonania badań przy odpowiedniej gęstości pokrycia punktami lub liniami pomiarowymi. W przypadkach szybów zaspanych możliwości prospekcyjne metod znacznie maleją. Ma to miejsce w szczególności w przypadkach, w których do zasypania szybów użyto gruntów rodzimych (występujących w otoczeniu szybu). W skrajnych przypadkach może to uniemożliwić wykrycie szybu metodami geofizycznymi. Doświadczenia z zastosowania metod geofizycznych w badaniach starych szybów pozwalają w następujący sposób uszeregować ich przydatność:

1. Mikrograwimetria.
2. Georadar.
3. Profilowania i sondowania elektrooporowe.

Tablica 1. Karta informacyjna szybu (wzór)
Table 1. Information card of the shaft (example)

Lp.	Nazwa szybu	Inne nazwy szybu w ujęciu historycznym	Nazwa Kopalni w czasie budowy	Nazwa Kopalni w czasie likwidacji	Przeznaczenie	OG w okresie likwidacji	Stan prawny OG
1	Alfred		Kopalnia „Jowisz”	ZG „Wojkowice”, Sp. z o.o.	podszadzkowy, wentylacyjny, materiałowy	Wojkowice Komorne I, Wojkowice	OG zniesiony
2	Lokalizacja szybu	na podstawie map w małej skali	na podstawie map podstawowych w dużej skali	lokalizacja przy pomocy GPSu	na podstawie wizji lokalnej i wywiadu środowiskowego	zdjęcia geofizyczne	badania geologiczne
		Erzkarte, Flotzkarte mapy górnicze w skali: 1: 5000, 1:4000	1:2000, 1:1600, 1:1000	z uwzględnieniem domiarów wcięciami geodezyjnymi	lokalizacja w nawiązaniu do obiektów istniejących	brak,	brak
3	Współrzędne	Sucha Góra		Inny (lokalny)		Przeliczone na ukl. 2000	
		X	Y	x	y	x	y
4	Charakterystyka techniczna szybu	Wysokość zrębu	Przekrój szybu	Głębienie szybu	Pogłębienie szybu:	Stan obudowy w okresie likwidacji	
		z = 289,2	kołowy, $\phi = 4,0$ m	lata 1931-32 0-166m ppt , obudowa gr. 0,4 m z lanego betonu	lata 1956-58 166 - 248 m ppt obudowa gr. 0,4 m z betonitów	dobry	
5	Wyrobiska mające połączenia z szybem						
	zbiornik podszadzkowy o wym. 25x55 m i gł. 9,0 -18 m	lunety rurociągów podszadzkowych - wloty do szybu - 18,60 m ppt (+ 270,6 m)	2 kanały wentylacyjne - wloty do szybu -16,75 m ppt (+272,45 m)	luneta nad poz. 160 m rzędna +156,50 m	poz. 160 m rzędna +131,80 m	poz. 235 m rzędna +56,00 m	
6	Budowa geologiczna	Nasypy	Holocen	Plejstocen	Pliocen	Trias	Karbon
		3,2 m				3,2-	
7	Poziomy wodonośne	czwartorzędowe	triasowe	karbońskie	zawodnienie powierzchni	zawodnienie szybu	dopływ całkowity
						szyb lekko zawilgocony	8,5 l/min
8	Sposób i rok likwidacji	nieznany sposób likwidacji	dane o likwidacji są częściowe	dokumentacja projektowa	pełna dokumentacja projektowa i wykonawcza likwidacji		
				188,2-157,4 m ppt - kamień segregowany ϕ 10-150 mm 157,4-107,4 m ppt dolomit o granulacji 50 -150 mm 107,4-88,0 m ppt - kamień segregowany ϕ 10-150 mm 107,4-88,0 m ppt - korek izolacyjny il (głina) 88,0-19,0 m ppt - kamień o granulacji do 150 mm 19,0-5,0 m ppt - korek izolacyjny il (głina) 5,0-0,0 m ppt - kamień o granulacji do 150 mm 0,0 m - przykrycie płytą betonową			
9	Poziom obciążeń dynamicznych	<50 mm/s2					
10	Zagospodarowanie powierzchni	Budowlane					

4. Konduktometria.
5. Geotermika.
6. Sejsmika.

Metoda mikrograwimetryczna z uwagi, iż jej wynik zależy głównie od zróżnicowania gęstości objętościowej utworów geologicznych i zasypu szybowego, powinna być stosowana

w każdym z przypadków. Pozostałe metody powinny uzupełniać rozpoznanie grawimetryczne, a w szczególności umożliwiać analizę przypadków, w których interpretacja danych grawimetrycznych jest wieloznaczna. Z tego względu zaleca się, aby każde z badań dla celów oceny szybów wykonywało co najmniej dwoma metodami geofizycznymi [6].

Tablica 2. Zakres wymaganych prac terenowych
Table 2. Field work range

Kategoria	Stopień zagrożenia	Wizja terenowa	Badanie geofizyczne	Otwór badawczy	Sondowanie dynamiczne
I	brak	tak	-	-	-
II	mały	tak	tak	-	-
III	średni	tak	tak	tak	tak
IV	duży	tak	tak	tak	tak

4.3. Zakres badań terenowych

Wymagania odnośnie do zakresu badań, a w szczególności dotyczące liczby punktów lub linii profilowych oraz powierzchni obszaru przyszybowego ustalone zostaną w dowiązaniu do kategorii zagrożenia (I – IV). W zależności od kategorii zagrożenia określa się zakres wymaganych badań terenowych wyspecyfikowany w tablicy 2.

5. Analiza zasypu szybowego

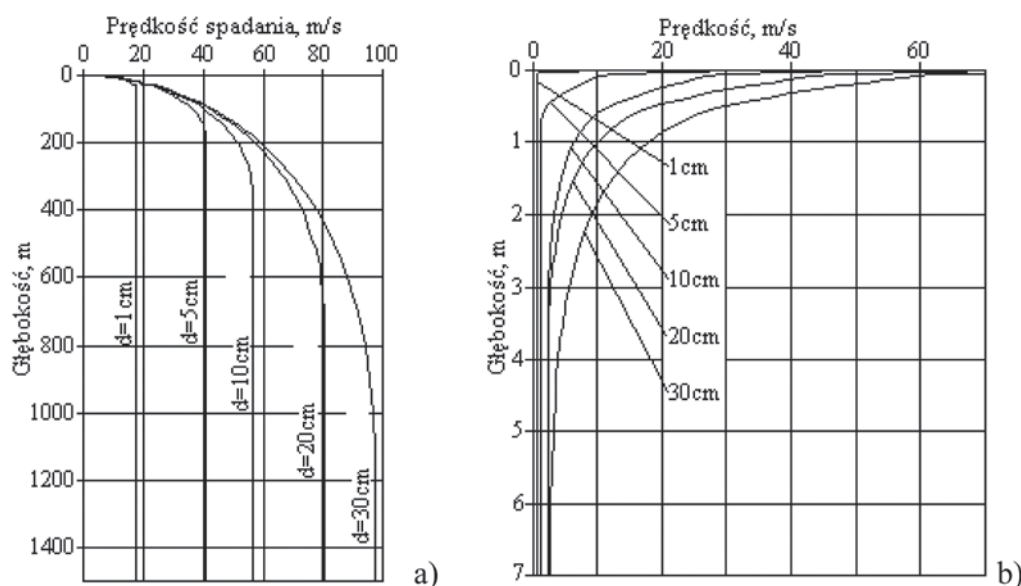
Szyby w kopalniach, które zakończyły wydobywanie, lub zbędne szyby w kopalniach czynnych, likwiduje się zwykle przez ich zasypanie gruzem kamiennym pochodzącym z hałdy kopalnianej lub odpowiednio granulowanym i wytrzymałym materiałem skalnym. Materiał zasypowy doprowadzany jest do zrębu szybu transporterem taśmowym i zrzucany na dno szybu. Technologia ta nie stwarza problemów, gdy szyb jest suchy lub dopływ wody jest niewielki. Pod wpływem energii kinetycznej, jaką osiągają okruchy skalne w trakcie swobodnego opadania, ulegają one rozdrobnieniu i zagęszczeniu. Zagęszczony wskutek dużych sił tarcia materiał tworzy stabilną i w zasadzie nieodkształcalną kolumnę zasypową. Stwierdzone niekiedy niewielkie osiadanie zasypu związane jest, z konsolidacją górnej, mniej zagęszczonej części zasypu.

Gdy do szybu dopływa woda, zachodzi zwykle potrzeba wypełnienia szybu podsadzką na tyle przepuszczalną, by woda mogła filtrować w dół z wydatkiem, zapewniającym odpływ wody z powierzchni zasypu. W tym celu stosuje się

granulaty ze skał o dużej wytrzymałości, jak granit, porfir czy dolomit. Ale i to nie zawsze gwarantuje bezpieczną likwidację szybu, bowiem już w początkowej fazie zasypu powstaje w szybie nieprzepuszczalny korek. Sypanie materiału do wody powoduje, że zasp nie ulega zagęszczeniu. Wzrost parcia, wynikający z ciężaru uwodnionej podsadzki może prowadzić do przetrwania korka i wypływu jej do wyrobisk przyszybowych.

Zasyp szybu odbywa się pod wpływem siły grawitacyjnej i wzrastającego w miarę zwiększania się prędkości spadania bryły oporu powietrza [3]. Gdy przyspieszenie wynikające z sił oporu osiągnie wartość przyspieszenia ziemskiego, wtedy bryła spada dalej już ruchem jednostajnym, z określoną maksymalną prędkością. W momencie uderzenia okruchu o dno szybu, energia kinetyczna zostaje całkowicie wytracona na odkształcenie bryły i podłoża oraz na ciepło powstające przy uderzeniu. W przypadku, gdy dolna część szybu wypełniona jest wodą i bryły materiału zasypowego wpadają do wody z prędkością odpowiadającą głębokości zwierciadła wody w szybie, zostają one gwałtownie wyhamowane do stałej prędkości opadania w wodzie. Prędkości spadania materiału zasypowego zrzucanego do szybu (w powietrzu i w wodzie) przedstawiają wykresy (rys. 4) [3].

Z analizy wykresów wynika, że maksymalne prędkości, jakie mogą osiągnąć bryły spadające w powietrzu zależą od ich średnicy a tym samym masy. Bryły o dużej masie mają większą bezwładność, wskutek czego hamujący wpływ ośrodka jest ograniczony. Ponadto, im większa jest masa bryły, tym większa jest głębokość, przy której osiągają one prędkość maksymalną. Wskutek dużej gęstości wody w porównaniu z gęstością powietrza, bryły opadające w wodzie ulegają



Rys. 4. Wykres prędkości spadania brył materiału zasypowego o średnicy d : a) – w powietrzu i b) – w wodzie. Frolik, Rogoż [3]

Fig. 4. Chart showing the falling speed of soil particles with diameter d : a) – in the air and b) – in the water. Frolik, Rogoż [3]

wyhamowaniu. Podobnie, jak w powietrzu, im większa jest masa bryły, tym większa jest głębokość, przy której osiągają one stałą prędkość.

Siła uderzenia w dno szybu jest ilorazem energii kinetycznej bryły E , przez długość drogi s , na której następuje jej wyhamowanie. Zniszczenie (skruszenie) bryły następuje, gdy naprężenie ściskające σ_c przekroczy wytrzymałość na ściskanie R_c . Krytyczną prędkość v_k , po przekroczeniu której bryła zostanie zniszczona, wyraża zależność 2.

$$v_k = R_c \sqrt{\frac{\pi d^3}{ME}} \quad (2)$$

Znając średnicę d i masę bryły M oraz wytrzymałość R_c i moduł odkształcenia E użytego materiału zasypowego, można określić krytyczną głębokość zrzutu zasypu, po przekroczeniu której materiał zasypowy ulegnie rozkruszeniu. W tabelicy 3 zestawiono krytyczne głębokości dla wybranych materiałów zasypowych.

Badania przydatności gruntów kamienistych stosowanych do budowy kolumny zasypowej wykazują zwykle na ich dużą przepuszczalność. Tymczasem w trakcie zasypu szybów, w wyniku kruszenia się (lamania, zginięcia) cząstek, następuje rozdrobnienie materiału i jego zagęszczenie. Zagęszczony zasyp, wskutek zmniejszenia porowatości osiąga przepuszczalność zwykle kilka rzędów wielkości niższą niż grunt w stanie naturalnym. Tymczasem dla przepuszczenia wody w szybie o średnicy 5 m w ilości powyżej 0,10 m³/min, wymagane jest osiągnięcie współczynnika filtracji zasypu $> 1 \cdot 10^{-4}$ m/s. Tego rzędu współczynniki filtracji dotyczą zwykle gruntów dobrze przepuszczalnych, takich jak pospółki, żwiry i otoczaki. Uzyskanie tak wysokich współczynników filtracji dla, spadającego z dużej wysokości materiału skalnego (rozdrobionego), jest trudne do osiągnięcia i wymagać może stosowania specjalnej technologii zasypu czy użycia do zasypu wyselekcjonowanego materiału równoziarnistego o średnicy 1÷2 cm, o wytrzymałych ziarnach, które w procesie zagęszczania nie ulegną już rozdrobnieniu. Tylko w przypadku zasypywania zawodnionego szybu, kiedy nie wystąpi zbyt duże rozdrobnienie materiału i zagęszczenie zasypu możliwe jest osiągnięcie przepuszczalności określonej z badań materiału wyjściowego.

Poprawność przytoczonych wyżej rozważań potwierdzają następujące przykłady likwidacji szybów usytuowanych na terenach kopalń węgla w północnej części GZW (rys. 5).

a) **Szyb wentylacyjny Karol KWK „Sobieski** – wybudowany w latach 1876÷77 do głębokości 217 m, pogłębiany w 1940 r. do 290 m i w roku 1958 do 522 m został zlikwidowany pod koniec XX wieku, przez zasypanie odpadem powęglowym. Przed likwidacją szyb był stosunkowo suchy – sumaryczny dopływ wynosił wprawdzie ponad 100 l/min, ale większość około 95 l/min stanowił dopływ

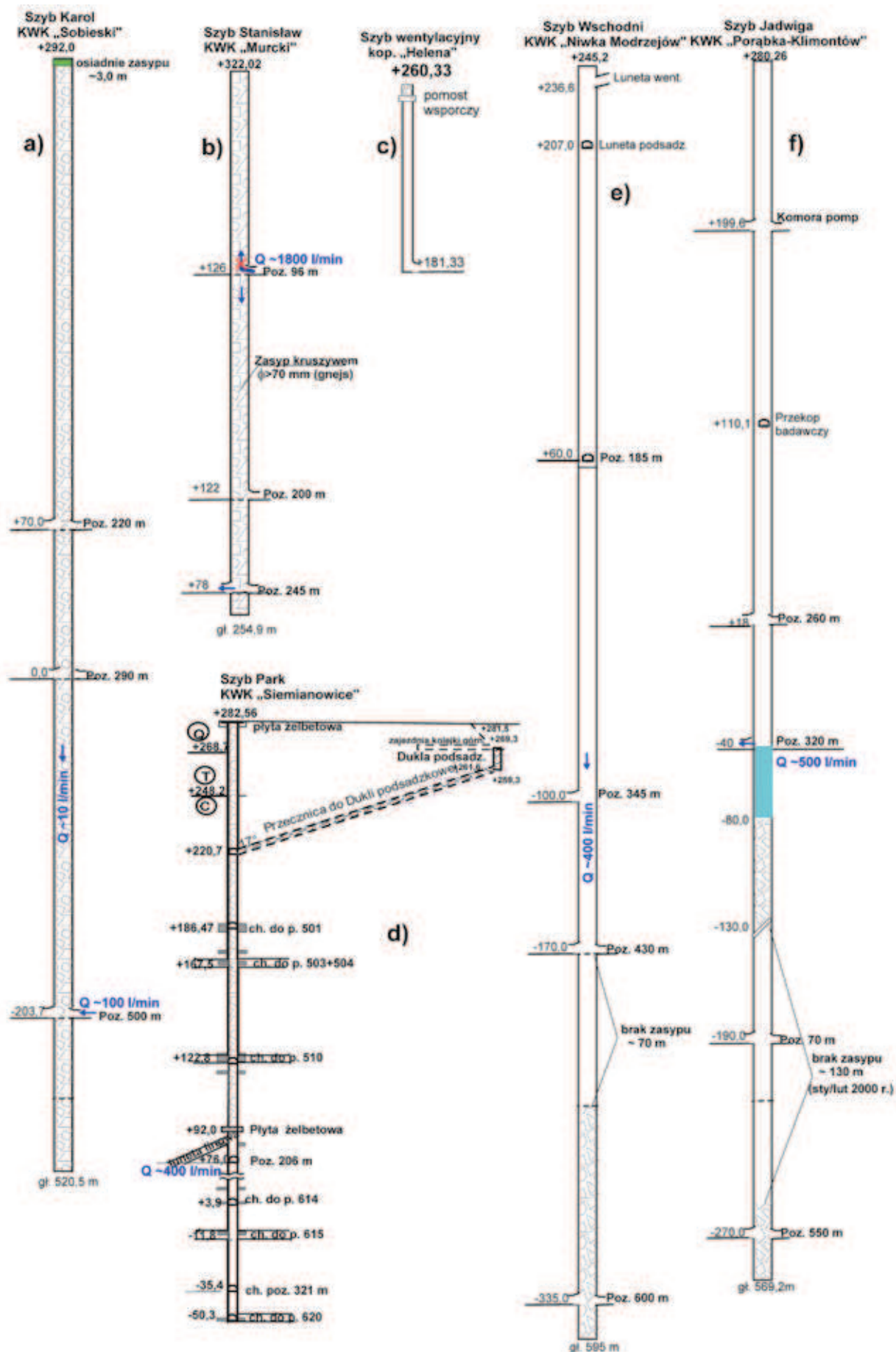
do poziomu 500 m. Niewielka ilość wody dopływającej z nadkładu (około 10 l/min), pozwoliła na osiągnięcie wilgotności optymalnej dla rozdrobnionego materiału i dobrego zagęszczenia zasypu, a wielkość osiadania zasypu (~3,0 m), zaobserwowana po kilkunastu latach od jego likwidacji, dotyczy głównie mniej zagęszczonej górnej części zasypu (do 50 m ppt).

- b) **Szyb Stanisław KWK „Murcki”** został zlikwidowany w roku 2003. Wobec dużego dopływu wody (około 1,8 m³/min), zastosowano tu specjalną technologię zasypu, z użyciem równoziarnistego materiału skalnego, o dużej wytrzymałości (okruchy gnejsu o średnicy 7÷8 cm). Materiał opuszczano grawitacyjnie w ilości około 20 m³/h. Po usypaniu 10-metrowej warstwy zasypu stosowano 10-godzinna przerwę, potrzebną na wymycie drobnych ziaren z materiału zasypowego. Po przerwie dokonywano pomiaru zasypu w szybie i poziomym lustrze wody. Mimo zastosowania tak wytrzymałego materiału, zasyp miejscami ulegał nadmiernemu zagęszczeniu i przepływ następował z opóźnieniem.
- c) **Szyb wentylacyjny dawnej kopalni „Helena” (później „Niwka-Modrzejów”)** o głębokości 79 m, został zamknięty pomostem na głębokości około 6,0 m i zasypany gruntem rodzimym lub materiałem powęglowym (najpewniej jeszcze przed zamknięciem kopalni „Helena” – 1937 r.). Zapadlisko terenu wokół szybu nastąpiło w dniu 23.06.2013 r. Przypuszczalnie przyczyną zapadliska był zwiększony opad atmosferyczny w okresie maj-czerwiec 2013 roku (ponad 200 mm). Warstwa ilowca grubości około 3 m, stanowiąca podparcie dla płyty wsporczej została zapewne rozmyta i pusty szyb wypełnił materiał, pochodzący z rozmycia i obsuwu gruntów z powstającego leja zapadliskowego. Objętość zapadliska do zasypu wyniosła 341 m³. Przeprowadzony bilans mas gruntów wprowadzonych do leja i pojemności szybu daje w wyniku wartość ok. 51 m³ nadmiaru gruntu zasypowego, co wynikało z zagęszczenia materiału w zasypie.
- d) **Szyb Park KWK „Siemianowice”** w końcowym okresie funkcjonowania kopalni był szybem ślepyim o głębokości 115 m (licząc od poz. 321 m do poz. 206 m, pełnił rolę wentylacyjną łącząc poziomy 206 i 321 m. Tarcza szybowa jest beczkowa o wymiarach 3,5 × 3,0 m, obudowa szybowa murowa, ceglana na całej długości. Na początku lat 90. ubiegłego wieku, w szybie na głębokości około 190 m została wykonana nieznanego konstrukcji płyta nośna, i szyb na odcinku górnym, został zlikwidowany przez zasypanie. Jako materiał zasypowy wykorzystano najprawdopodobniej materiały grubookruchowe pochodzące bezpośrednio z robót górniczych lub procesu przerobczego oraz pyły elektrowniane. Wobec znacznego dopływu do szybu (około 400 l/min) materiał sypany do wody nie uległ zagęszczeniu

Tabela 3. Krytyczne głębokości zrzutu po przekroczeniu, których materiał zasypowy w suchym szybie ulegnie rozkruszeniu, m

Table 3. Critical depths of thrust - when exceeded the backfill material in a dry shaft will disintegrate

Rodzaj materiału skalnego	R _c	E	Średnica bryły				
			MPa		1 cm	5 cm	10 cm
Granit	150	30000	–	–	118	102	98
dolomit triasowy	75	17000	–	49	45	42	41
piaskowiec gruboziarn.	48	12800	–	25	23	22	22
piaskowiec średnioziarn.	52	11000	–	35	32	31	30
piaskowiec drobnoziarn.	70	11000	–	73	62	58	54
iłowce i mułowce	45	13500	–	20	20	19	19



Rys. 5. Przykłady likwidacji szybów
 Fig. 5. Selected examples of shafts' liquidation

ani też nie uległy zeskaleniu będące pod ciągłym działaniem wody pyły elektrowniane. W październiku 2010 roku po zwiększonych opadach deszczu, jakie miały miejsce od maja do września, w wyniku nadmiernego nawodnienia zasypu, nastąpiło rozmycie ilowców, w których posadwiono płytę wsporczą. Płyta najprawdopodobniej, utraciła podparcie i została zniszczona, a nawodniony zasyp z szybu oraz przeczniczy wentylacyjnej przemieścił się gwałtownie do dolnej, pustej części szybu.

- e) **Szyb Wschodni KWK „Niwka-Modrzejów”**. Do zasypu szybu od poziomu 430 do 600 m użyto tłucznia dolomitowego o granulacji $16 \div 31$ mm, który upuszczano rurociągiem podsadzkiowym do wysokości poziomu 430 m. Mimo zastosowania kruszywa dolomitowego o jednorodnym uziarnieniu, nie uzyskano zakładanej przepuszczalności zasypu. Należy przypuszczać, że w wyniku tarcia okruchów o ścianki rurociągu nastąpiło rozdrobnienie i zagęszczenie materiału, w wyniku czego, w dolnej części szybu utworzył się nieprzepuszczalny korek. Napływ wody do szybu w ilości około 60 l/min powodował zawodnienie luźnego zasypu. Po zasypaniu szybu do poziomu 430 m, nastąpiła ucieczka zasypu do wyrobisk poziomu 600 m i obsunięcie zasypu około 70 m w dół.
- f) Najmniej przewidywalny przebieg miała likwidacja **szybu Jadwiga Kopalni „Porąbka-Klimontów”** o głębokości 569 m. Podczas zasypywania szybu (styczeń-luty 2000 r.) w wyrobiskach na poziomie 320 m nastąpił wypływ wody. Kontrola zasypu wykazała, że strop zasypu występuje na głębokości około 360 m natomiast między poziomem 410 a 540 m jest pusty. Najprawdopodobniej w wyniku urwania się rurociągu na głębokości 410 m powstał pomost, na którym w wyniku zagęszczenia materiału zrzuconego do szybu utworzył się szczelny korek i cała ilość wody wypłynęła na poziom 320 m.

6. Parametryczna ocena zagrożenia ze strony szybu

Analiza doświadczeń w zagospodarowywaniu terenów górniczych, a w szczególności rozpoznawania warunków geologiczno-inżynierskich dla potrzeb inwestycyjnych wskazuje, że z uwagi na zależność zagrożenia od wielu czynników geologicznych, górniczych czy geotechnicznych, najważniejszą metodą jego kwantyfikacji będzie parametryzacja poszczególnych czynników w sposób podobny do zaproponowanej dla terenów pogórnicych w Zagłębiu Ruhry [2]. Z uwagi na powyższe, w pracy Głównego Instytutu Górniczego [8] zaproponowano, by ocenę zagrożenia przeprowadzić dla wszystkich wyrobisk udostępniających uwidocznionych w dokumentacji mierniczo-geologicznej kopalni, mapach kartografii ogólnej i górniczej (mapy przeglądowe wydane przez Urząd Górniczy we Wrocławiu – Erzkarte, Flotzkarte). Ponieważ zagrożenie powierzchni zależne jest od wielu różnych czynników, wprowadzono ich parametryzację. Każdemu parametrowi przypisana została określona liczba punktów. Podstawowym dokumentem informacyjnym o szybie jest **karta informacyjna szybu** (tablica 1) z danymi aktualnymi w dniu jej sporządzenia. Na podstawie danych zawartych w karcie sporządzana jest ocena intensywności zagrożenia powierzchni ze strony szybu na **karcie oceny parametrycznej szybu** (tablica 4). Obie karty będą mogły podlegać aktualizacji wraz ze zmianą wartości poszczególnych parametrów.

Intensywność zagrożenia powierzchni wyraża się sumą punktów z poszczególnych parametrów wg. tablicy 4. Maksymalna liczba punktów może wynosić **60** (najwyższe zagrożenie). Intensywność zagrożenia wyraża się w czterech kategoriach (tablica 5). Każdej z kategorii przypisane zostaje

prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia. Przy czym jako najniższą wartość prawdopodobieństwa (w kategorii I) przyjmie się wartość określającą najwyższe prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia zapadliskowego określoną z analizy zbioru zapadlisk, które wystąpiły na terenach płytkiej eksploatacji węgla w GZW, tj. $p = 10^{-3}$ [5].

7. Ocena ryzyka dla użytkowania powierzchni

Ocena ryzyka wystąpienia zapadlisk w rejonie połączenia wyrobisk z powierzchnią jest problemem złożonym. Ryzyko definiowane jest jako iloczyn prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia i potencjalnych jego skutków. Z kolei skutki można opisywać w kategoriach bezpieczeństwa lub szkód materialnych (ekonomicznych) W klasyfikowaniu ryzyka zagrożenia powierzchni ze strony szybów zaproponowano przyjęcie charakterystyki potencjalnych szkód wg roboczego schematu przedstawionego w tablicy 6.

Na szacowane koszty naprawy szkody składają się wszystkie wydatki poniesione w związku z wystąpieniem zdarzenia zapadliskowego takie jak koszty ekspertyz, badań, prac ratunkowych, projektów i prac dotyczących likwidacji szkody, a także roszczeń finansowych rodzin ofiar w przypadkach wystąpienia szkód o rozmiarze katastrofy lub wypadku i właścicieli uszkodzonych obiektów budowlanych oraz nieruchomości.

8. Podsumowanie

Stare szyby górnicze są elementem trwale przeobrażającym środowisko geologiczne. Gdy stawały się nieprzydatne przedsiębiorca górniczy tracił zainteresowanie nimi. Stworzyło to wiele problemów dla późniejszych użytkowników terenu w pogórnicych jego historii. Opuszczone szyby często stanowią dziś element potencjalnego zagrożenia dla użytkowania powierzchni. Już sam brak udokumentowanej informacji o czasie i sposobie likwidacji szybu powoduje, że konieczne jest wykonanie różnych prac mających na celu ustalenie, w jaki sposób szyb pozostawiono w środowisku. Wykonanie tych prac musi być uwzględnione w planowaniu kosztów prac projektowych mających na celu zagospodarowanie terenów z dawnymi szybami górniczymi.

Analiza zagrożenia ze strony starych szybów górniczych wskazuje, że zależy ono od szeregu czynników, które można opisać parametrami budowlanymi, geologicznymi i środowiskowymi. W przedstawionej propozycji metodyki czynników takich wyróżniono 17. Każdemu z tych czynników przypisano punkty, które *de facto* są wagami w określonej ich grupie. Suma punktów decyduje o zaliczeniu szybu do jednej z czterech kategorii zagrożenia. Każdej z kategorii przypisano określony zakres prac badawczych wymaganych do określenia możliwości i sposobu zagospodarowania terenów z szybami dla celów budowlanych. Dla umożliwienia oceny ryzyka inwestycyjnego na terenach, w których usytuowano stare szyby górnicze, skwantyfikowano koszty usunięcia potencjalnych szkód, które mogą być spowodowane zawałaniem się obudowy szybów.

Z przeprowadzonych analiz teoretycznych wynika, że fizyka procesu likwidacji szybu techniką zasypiania silnie zależy od głębokości oraz jego zawodnienia. Wynika to z wielkości sił działających na spadający grunt zasypowy w momencie ich zderzenia z dnem szybu, które powodują rozpad okruchów skalnych oraz ich zagęszczenie. Inne siły działają jednak na okruchy skalne w powietrzu, a inne w wodzie. Likwidacja szybu o dużej głębokości sięgającej niekiedy 1000 m stwarza

Tablica 4. Karta oceny parametrycznej szybu
Table 4. Card of parametric evaluation of the shaft

Lp.	Parametr	Kryterium/punktacja				
		znana	przybliżona	nieznana		
1	Lokalizacja	znana	przybliżona	nieznana		
		0	2	5		
2	Wymiar poziomy (średnica, przekątna)	0,5-2 m	2-4 m	>4 m		
		0	1	2		
3	Głębokość	<10 m	11-50m	>51 m		
		0,5	1	2		
4	Grubość luźnego nadkładu	<3m	4-30 m	>31m		
		0	1	2		
5	Zawodnienie nadkładu	brak	małe	duże		
		0	2	5		
6	Zawodnienie szybu w trakcie likwidacji	dopływ <0,1 m ³ /min	dopływ 0,1 - 1,5 m ³ /min	dopływ > 0,5m ³ /min		
		0	3	5		
7	Badanie geofizyczne	jest	0	brak	2	
8	Badanie geologiczne	jest	0	brak	2	
9	Poziom obciążeń dynamicznych	<50 mm/s ²	51-250mm/s ²	251-500mm/s ²	501-1000 mm/s ²	>1001mm/s ²
		0	0,25	0,5	1	2
10	Obudowa	betonowa	betonitowa	murowa	drewniana	nieznana
		1	2	3	4	5
11	Wypełnienie szybu	jest	0	brak	5	
12	Rodzaj materiału wypełniającego	kruszywo ze skały mocnej	kruszywo ze skały karbońskiej	popioły i żużle	grunt mineralny,	inne
		1	2	3	4	5
13	Płytkie wyrobiska w łączności z szybem	brak	pojedyncze	liczne		
		0	2	5		
14	Koncentracja gazów ziemnych większa od referencyjnej	brak	CO	CO ₂	CH ₄	H ₂ S
		0	1	1	1	1
15	Dokumentacja likwidacyjna	kompletna	częściowa	brak		
		0	2	4		
16	Kontrola zasypu	jest	0	brak	3	
17	Zagospodarowanie powierzchni	leśne	rolne	rekreacyjne, drogi dojazdowe, parkingi	obiekty budowlane	budowle komunikacyjne, szlaki kolejowe, autostrady, drogi krajowe
		1	2	3	5	10

Tablica 5. Klasyfikacja zagrożenia powierzchni ze strony szybu
Table 5. Classification of surface hazard posed by shaft

Kategoria	Suma punktów	Stopień zagrożenia	Prawdopodobieństwo
I	< 10	Brak	0,001 - 0,01
II	11 - 20	Mały	0,01 - 0,1
III	21-30	Średni	0,1 - 0,5
IV	>31	Duży	0,5 - 1

Tablica 6. Skutki szkody spowodowane zawaleniem się szybu
Table 6. Effects of damages caused by the falling of the shaft

Rozmiar szkody	Opis	Koszt naprawy szkody
Katastrofa	Uszkodzenie linii kolejowej lub drogowej, obiektu budowlanego, wypadek zbiorowy (ofiary śmiertelne)	>10 mln zł
Wypadek	Uszkodzenie linii kolejowej lub drogowej, obiektu budowlanego, wypadek indywidualny lub zbiorowy bez ofiar,	1- 10 mln zł
Szkoda budowlana	Uszkodzenie linii kolejowej lub drogowej, obiektu budowlanego,	0.1 – 1 mln
Szkoda gruntowa	Lej zapadliskowy wymagający rekultywacji, utrata wartości nieruchomości	< 0.1 mln

poważne problemy techniczne. O ile w przypadku szybu suchego energia kinetyczna spadających odruchów skalnych jest na tyle duża, że większość stosowanych materiałów tworzy stabilną kolumnę zasypową, to w przypadku dopływu wody może dojść do utworzenia szczelnego korka i utworzenie nad nim niestabilnego zasypu w postaci luźnej zawiesiny materiału w wodzie. Po przekroczeniu wytrzymałości korka, może nastąpić ucieczka materiału do wyrobisk poziomowych i nagły obsuw zasypu. Zjawiska te mogą mieć gwałtowny przebieg i stanowić zagrożenie nie tylko dla wyrobisk górniczych na dole kopalni, ale również dla powierzchni terenu.

Powiadomienie

Artykuł jest wynikiem realizacji w Głównym Instytucie Górnictwa Projektu Badawczego zleconego przez Wyższy Urząd Górniczy i sfinansowanego ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

Literatura:

1. *Chudek M., Janusz W., Zych J.*: Studium dotyczące stanu rozpoznania tworzenia się i prognozowania deformacji nieciągłych pod wpływem podziemnej eksploatacji złóż. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Gliwice 1988, z. 866.
2. *Drobniewski M., Telenga K.*: Prewentywne opracowanie zagrożenia i ryzyka zapadliskowego związanego z płytką eksploatacją na terenach górniczych należących do RAG. Mat. Konferencji XI Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych, Hucisko 2011.
3. *Frolik A., Rogoż M.*: Zagęszczanie zasypu w trakcie likwidacji szybu. *Przeгляд Górnicy* 3/2006 str. 27÷32.
4. *Jaros J.*: Słownik historyczny kopalń węgla na ziemiach polskich. Zeszyty Naukowe nr 59. Śląski Instytut Naukowy. Katowice 1972.
5. *Kotyrbka A.*: Zagrożenie i ryzyko zapadliskowe terenów GZW. *Wiadomości Górnicy* nr 7-8. Katowice 2005 str. 348÷358.
6. *Kotyrbka A.*: Detection, localization and backfill assessment of old mining shafts in the Upper Silesia Coal Basin with geophysical methods. Proc. of 14th EAGE Meeting. Near Surface 2008. 15-17 September, Cracow 2008. CD.
7. *Kotyrbka A.*: Verification of post-mining hazard identification on the route of A1 motorway construction in Upper Silesia. 11 Altbergbau Kolloquium. Wrocław. Listopad 2011. pp.155÷166.
8. *Kowalski A., Frolik A., Kotyrbka A., Mutke G., Gruchlik P.*: Metodyka oceny zagrożeń ze strony wyrobisk górniczych mających połączenie z powierzchnią, usytuowanych na terenach zlikwidowanych podziemnych zakładów górniczych. Praca niepublikowana. GIG. Katowice, 2012.

NACZELNY REDAKTOR

w zeszycie 1-2/2010 *Przeгляду Górnicy*, zwrócił się do kadr górniczych z zachętą do publikowania artykułów ukierunkowanych na wywołanie

POLEMIKI – DYSKUSJI.

Trudnych problemów, które czekają na rzetelną, merytoryczną wymianę poglądów – jest wiele! Od niej – w znaczącej mierze – zależy skuteczność praktyki i nauki górnicy w działaniach na rzecz bezpieczeństwa górnicy oraz postępu technicznego i ekonomicznej efektywności eksploatacji złóż.

Od naszego wysiłku w poszukiwaniu najlepszych rozwiązań – zależy przyszłość polskiego górnicy!!!