

Krzysztof Gogola\*, Andrzej Bajerski\*, Adam Smoliński\*

## MODYFIKACJA METODY OCENY ZAGROŻENIA POŻAROWEGO NA TERENACH LOKOWANIA ODPADÓW POWĘGLOWYCH

### Streszczenie

W artykule zaproponowano modyfikację metody oceny zagrożenia pożarowego na terenach lokowania odpadów powęglowych. Metoda pierwotna została opracowana w Głównym Instytucie Górnicztwa w latach 80. XX w. i zmodyfikowana w 1996 r. Wprowadzone zmiany zmierzały do uproszczenia istniejącej już metody. Dostosowano ją do obecnych możliwości technicznych w zakresie badań parametrów określających stan termiczny obiektów formowanych z odpadów powęglowych. Ważny aspekt stanowiły także warunki techniczne omawianej metody, obejmujące ocenę jakości prowadzonych robót.

W tak zmodyfikowanej metodzie najważniejszymi kryteriami oceny zagrożenia pożarowego są:

- zakres i częstotliwość badań stanu termicznego obiektu,
- ocena wskaźnika zagęszczenia uformowanych nasypów.

### Modification of the method for assessing the fire hazards in areas of coal mining wastes locating

#### Abstract

In the article, the modification of the method for assessing the fire hazards in areas of coal mining wastes locating has been proposed. The primal method was developed in the Central Mining Institute (Główny Instytut Górnicztwa) in the 1980s of the 20th century and modified in 1996. The aim of the undertaken changes has been to simplify the already existing method. It has been adapted to the current technical possibilities in the field of the research parameters defining the thermal state of objects formed from mining waste. As the important aspect the technical conditions of this method have also been stated, including the assessment of the quality of the carried out works.

In the method modified in this way, the major fire hazard assessment criteria have been regarded as:

- the scope and frequency of tests on thermal state of an object,
- the evaluation of the indicator of the formed embankments density.

## 1. WPROWADZENIE

Wydobyciu oraz przeróbce węgla kamiennego towarzyszy powstawanie znacznych ilości odpadów. Obecnie większość wytwarzanych odpadów powęglowych jest poddawana odzyskowi. Otrzymane w ten sposób odpady najczęściej są wykorzystywane jako materiał budowlany przy różnego rodzaju robotach inżynierskich. Stanowią także materiał do rekultywacji terenów zdegradowanych.

Bez względu na sposób zagospodarowania odpadów powęglowych na powierzchni ziemi, należy zwrócić uwagę na technologie stosowane podczas prowadzenia tego rodzaju prac. Nieodpowiednie technologie formowania nasypów przy wykorzystywaniu odpadów powęglowych mogą prowadzić do znacznych zagrożeń dla śro-

---

\* Główny Instytut Górnicztwa

dowiska naturalnego. Największym zagrożeniem jest możliwość wystąpienia samozagrzania, a w rezultacie pożaru endogenicznego (Bystroń, Urbański i in. 1980; Gumińska, Różański 2005). Prewencja pożarowa jest zatem jednym z najistotniejszych aspektów bezpiecznego lokowania odpadów powęglowych.

Podejmowane próby opracowania skutecznych metod oceny i klasyfikacji zagrożenia pożarowego na tego typu terenach, zaowocowały stworzeniem spójnej koncepcji prognozowania możliwości samozapalenia się usypisk odpadów kopalnianych (Urbański 1983). Opracowana koncepcja była oparta na metodach stosowanych na zwałach węgla (Bystroń, Urbański 1975). W następnych latach omawiana metoda ulegała kolejnym, licznym modyfikacjom (Szafer 1985; Urbański, Korczyńska 1996). Zmodyfikowaną metodę prognozowania zagrożenia pożarowego zwałowisk odpadów powęglowych zaprezentowano w 1996 r. (Urbański, Korczyńska 1996).

W niniejszej pracy zaproponowano dalszą modyfikację istniejącej metody. Autorzy pracy uprościli ją znacznie oraz dostosowali do obecnych możliwości technicznych. Zmianom uległ zakres badań parametrów określających stan termiczny obiektów formowanych z odpadów powęglowych oraz oceniających jakość prowadzonych robót. W tak zmodyfikowanej metodzie najistotniejszymi kryteriami oceny zagrożenia pożarowego stały się:

- zakres i częstotliwość badań stanu termicznego obiektu,
- ocena wskaźnika zagęszczenia uformowanych nasypów.

W praktyce kryteria te determinują prawdopodobieństwo samozapłonu odpadów powęglowych.

## **2. OBECNIE STOSOWANA METODA PROGNOZOWANIA ZAGROŻENIA POŻAROWEGO ZWAŁOWISK ODPADÓW POWĘGLOWYCH**

Opracowana w 1996 r. zmieniona metoda oceny stopnia zagrożenia pożarowego zwałowisk odpadów powęglowych (Urbański, Korczyńska 1996) polegała na doprecyzowaniu metody powstałej na początku lat 80. XX w. (Urbański 1983). W ramach modyfikacji wprowadzono szereg dodatkowych czynników, które określały prawdopodobieństwo samozapłonu zwałowiska.

### **2.1. Prognozowanie zagrożenia pożarowego zwałowisk odpadów powęglowych według metody opracowanej w roku 1996**

Metoda opracowana w 1996 r. polega na przypisywaniu dla danego obiektu zwałowego wartości liczbowych dziesięciu czynników, a następnie na wyznaczeniu na ich podstawie wskaźnika zagrożenia pożarowego  $P$ . W rezultacie ustala się prognozy zagrożenia pożarowego, według skali pięciostopniowej. Wskaźnik  $P$  jest wyznaczany na podstawie wzoru

$$P = \sum_{n=1}^N A_n \quad (1)$$

gdzie:

- $A$  – czynnik wpływający na możliwość wystąpienia pożaru,  
 $n = 1, 2 \dots N$  – wskaźnik charakteryzujący określony czynnik, wpływający na zagrożenie pożarowe danego obiektu zwałowego,  
 $N$  – liczba wszystkich czynników istotnych przy wyznaczaniu wskaźnika  $P$ .

**Czynnik nr 1** określa zdolność odpadów powęglowych do samozapalenia. Wartość czynnika określana jest na podstawie metody przeznaczony do badań węgla kamiennego, przy czym jako jedyne z trzech stosowanych tam kryteriów oceny, przyjmuje się wskaźnik samozapalności węgla  $S_z^a$  (Frączek 2007). Klasyfikację badanego materiału przedstawia tabela 1. Wyodrębniono w niej cztery kategorie zdolności odpadów powęglowych do samozapalenia.

**Tabela 1.** Klasyfikacja odpadów powęglowych pod względem zdolności do samozapalenia

Wskaźnik $S_z^a$ , °C/min	Kategoria samozapalności odpadów	Zdolność do samozapalenia
≤ 10	I	mała
11–15	II	średnia
16–22	III	duża
> 22	IV	bardzo duża

**Czynnik nr 2** określa rozmiar największych ziaren lub brył zawartych w odpadach. Rozmiar ten jest wyznaczany szacunkowo na podstawie oględzin.

**Czynnik nr 3** określa procentowy udział w materiale zwałowym odpadów flotacyjnych w postaci tzw. placków pofiltracyjnych lub innych, o podobnych właściwościach uszczelniających.

**Czynnik nr 4** charakteryzuje zdolność odpadów do rozmakania. Zdolność odpadów powęglowych do rozmakania (lasowania) wyznacza się w sposób uproszczony, oparty na metodzie opracowanej w Głównym Instytucie Górnictwa. Próbkę w stanie powietrzno-suchym o masie około 1 kg i uziarnieniu 10–30 mm, umieszcza się z zlewce, a następnie całkowicie zalewa wodą. Po 14 dniach przebywania próbki w wodzie, przemywa się ją na sicie o oczkach 0,063 mm, określając procentowy wychód klasy poniżej 0,063 mm. Procentowa zawartość tej klasy jest wskaźnikiem rozpadu danego materiału zwałowego w wodzie, obliczanym według wzoru

$$R = \frac{G - G'}{G} 100, \% \quad (2)$$

gdzie:

- $R$  – wartość wskaźnika rozpadu po 14 dniach,  
 $G$  – pierwotna masa próbki w stanie powietrzno-suchym,  
 $G'$  – masa próbki w stanie powietrzno-suchym po 14 dniach przebywania w wodzie i po odmyciu ziaren poniżej 0,063 mm.

Wyróżnia się trzy stopnie zdolności odpadów powęglowych do rozmakania:

- mała zdolność, gdy  $R < 5\%$ ,
- średnia zdolność, gdy  $R = 6-12\%$ ,
- duża zdolność, gdy  $R > 12\%$ .

**Tabela 2.** Czynniki prognozy zagrożenia pożarowego zwałowiska odpadów powęglowych oraz wartości liczbowe tych czynników

Nr czynnika	Nazwa czynnika	Wartość liczbową czynnika
1	Zdolność odpadów powęglowych do samozapalenia	
	Mała	-20
	Średnia	0
	Duża	+20
2	Rozmiary największych ziaren lub brył zawartych w odpadach, cm	
	< 5	0
	6-20	+3
	21-40	+5
3	Udział w materiale zwałowym odpadów poflotacyjnych w postaci tzw. placzków pofiltracyjnych lub innych o podobnych właściwościach uszczelniających, %	
	< 5	0
	6-10	-3
	> 10	-3
4	Zdolność odpadów do rozmakania	
	Mała	0
	Średnia	-4
5	Typ zwałowiska	
	Podziemowe, bez skarp	0
	Podziemowe z istniejącą skarpią	+3
	Podziemowo-nadziemowe typu płaskiego	+5
6	Wysokość zwałowiska, m	
	< 4	0
	4-10	+3
	11-18	+8
7	Rodzaj transportu odpadów na zwałowisko	
	Kolej szynowa lub inna, albo taśmociągi i inne przenośniki bez stosowania spychaczy	+5
	Środki transportu jw. z zastosowaniem spychaczy	0
	Samochody (lub wozidła), sypanie odpadów na pełną wysokość zwałowiska, zależnie od ładowności	od 0 do -10
8	Kubatura zwałowiska, tys. m <sup>3</sup>	
	< 10	0
	11-100	+2
	101-200	+5
9	Stosowane metody prewencji pożarowej	
	Warstwowe zagęszczanie metodą wibracyjną oraz uszczelnianie zewnętrznej powierzchni zwałowiska drobnopiękistym materiałem	-40
	Warstwowe zagęszczanie jw. bez uszczelniania powierzchni	-30
	Powierzchniowe zagęszczanie z uszczelnianiem powierzchni	-30
	Powierzchniowe zagęszczanie bez uszczelniania	-15
	Uszczelnianie powierzchni bez zagęszczania	-10
10	Stosowane metody badania stanu termicznego zwałowiska	
	Brak stosowania metod prewencji pożarowej	0
	Obserwacje wizualne	0
	Obserwacje wizualne oraz okresowe pomiary temperatury powierzchni zwałowiska	-3
10	Obserwacje wizualne oraz okresowe pomiary temperatury powierzchni zwałowiska i badania wglębne, z uwzględnieniem temperatury i składu chemicznego atmosfery gazowej	
		-7

**Czynnik nr 5** określa typ zwałowiska, który przyjmuje się zgodnie z wariantami, wyszczególnionymi w tabeli 2.

**Czynnik nr 6** określa wysokość zwałowiska (lub grubość warstwy odpadów w przypadku zwałowiska podziemnego). Wartość czynnika ustala się przez pomiar lub metodą szacunkową.

**Czynniki nr 7, 8, 9** definiują odpowiednio: rodzaj transportu odpadów powęglowych na zwałowisko, kubaturę zwałowiska oraz stosowane metody prewencji pożarowej (tab. 2).

**Czynnik nr 10** określa metody badania stanu termicznego zwałowiska. Jest to szczególnie istotne z punktu widzenia oceny możliwości wystąpienia samozapłonu zwałowiska. Czynnik ten ma związek z wczesnym wykrywaniem procesu samozagrzewania, co pozwala uniknąć pożaru.

W oparciu o czynniki zaprezentowane w tabeli 2, ustala się stopień zagrożenia pożarowego dla konkretnego obiektu uformowanego z odpadów powęglowych.

W tabeli 3 przedstawiono klasyfikację zwałowisk odpadów powęglowych pod względem zagrożenia pożarowego.

**Tabela 3.** Klasyfikacja zwałowisk odpadów powęglowych pod względem zagrożenia pożarowego

Wartość liczbowa wskaźnika zagrożenia pożarowego	Stopień zagrożenia pożarowego	Wielkość zagrożenia pożarowego	Prognoza w zakresie możliwości samozapalenia zwałowiska
< 0	I	brak zagrożenia	zwałowisko nie zapali się
1–15	II	małe zagrożenie	zwałowisko nie powinno się zapalić
16–30	III	średnie zagrożenie	zwałowisko może się zapalić
31–45	IV	duże zagrożenie	zwałowisko powinno się zapalić
> 45	V	bardzo duże zagrożenie	zwałowisko na pewno się zapali

## 2.2. Słabe strony metody prognozowania zagrożenia pożarowego zwałowisk odpadów powęglowych

Stosowanie w praktyce metody prognozowania zagrożenia pożarowego zwałowisk odpadów powęglowych, w przypadku wielu obiektów, generowało wyniki nieadekwatne do stanu faktycznego, a czasem wręcz sprzeczne. Stan taki spowodował, iż w ostatnich latach metoda ta praktycznie nie była wykorzystywana. Błędne działanie metody można przedstawić na przykładzie dwóch obiektów uformowanych z odpadów powęglowych, na których w latach 2003–2004 Główny Instytut Górnictwa prowadził badania stanu termicznego. Są to: składowisko „Waleska” w Łaziskach Górnych (Gogola, Bajerski i in. 2003) oraz hałda 1/R w Zabrze-Mikulczycach (Gogola, Bajerski i in. 2004). Dla obiektów tych dokonano prognozy zagrożenia pożarowego w oparciu o metodę opracowaną w 1996 r., zakładając, że obecny stan termiczny obiektów nie jest znany. W przypadku składowiska „Waleska” ustalono wskaźnik zagrożenia pożarowego  $P = -28$ , co pozwoliło zaklasyfikować obiekt do I stopnia zagrożenia pożarowego, oznaczającego brak zagrożenia. W przypadku hałdy 1/R oszacowano wskaźnik  $P = +6$ , który odpowiada II stopniowi zagrożenia pożarowego, co oznacza małe zagrożenie. Wartość liczbowa czynników zagrożenia pożarowego dla omawianych obiektów, uzyskana według tej metody, została zestawiona w tabeli 4.

Tabela 4. Prognoza zagrożenia pożarowego dla składowiska „Waleska” oraz hałdy 1/R

Lp.	Nazwa czynnika	Wartość czynnika charakteryzującego obiekt według metody z 1996 r.	
		„Waleska”	Hałda 1/R
1	Zdolność odpadów powęglowych do samozapalenia	średnia (0) (Łączny, Iwaszenko, Długosz 2009)	średnia (0) opcjonalnie (-20) (Łączny, Iwaszenko, Długosz 2009)*
2	Rozmiary największych ziaren lub brył zawartych w odpadach	21–40 cm (+5)	21–40 cm (+5)
3	Udział w materiale zwałowym odpadów poflotacyjnych w postaci tzw. placków pofiltracyjnych lub innych o podobnych właściwościach uszczelniających	< 5% (0) na obiekcie nie deponowano odpadów poflotacyjnych	< 5% (0) na obiekcie nie deponowano odpadów poflotacyjnych
4	Zdolność odpadów do rozmakania	średnia (-4)	mała (0) z powodu braku wyników badań, przyjęto wariant skrajnie niekorzystny
5	Typ zwałowiska	nadpoziomowe typu płaskiego (+5)	podpoziomowo-nadpoziomowe typu płaskiego (+5)
6	Wysokość zwałowiska	11–18 m (+8)	11–18 m (+8)
7	Rodzaj transportu odpadów na zwałowisko	transport samochodowy, sypianie odpadów warstwowych o grubości < 2,5 do 3,0 m, (-10)	transport kolejowy, częściowo samochodowy ze stosowaniem spychaczy (0)*
8	Kubatura zwałowiska	> 200 tys. m <sup>3</sup> (+8)	> 200 tys. m <sup>3</sup> (+8)
9	Stosowane metody prewencji pożarowej	warstwowe zagęszczanie metodą wibracyjną oraz uszczelnianie zewnętrznej powierzchni zwałowiska drobnodziarnistym materiałem (-40) na obiekcie dodatkowo stosowana jest przekładka z materiału inertnego po każdej 0,5 m warstwie odpadów	powierzchniowe zagęszczanie bez uszczelniania powierzchni (-20)
10	Stosowane metody badania stanu termicznego zwału	obserwacje wizualne (0)**	obserwacje wizualne (0)
	Wartość wskaźnika P	-28	+6

\* W przypadku hałdy 1/R opcjonalnie wartość czynników 1 i 7 może wynosić odpowiednio -20 i -5, co ustali wskaźnik P na poziomie -18. \*\* Stan sprzed 2002 r., tj. przed wykryciem ognisk pożarowych (obecnie prowadzi się stały nadzór aerologiczny obiektu).

W obu analizowanych sytuacjach dotychczasowa metoda prognozowania zagrożenia pożarowego dała rezultaty nieadekwatne do stanu rzeczywistego. Składowisko „Waleska” i hałdę 1/R cechuje znaczna aktywność termiczna.

Podczas przeprowadzonych w 2003 r. na składowisku „Waleska” badań stanu termicznego wyodrębniono obszar, na którym temperatura wnętrza zwału przekraczała 200°C (wzrastając miejscami powyżej 900°C) oraz kilka rejonów o podwyższonej aktywności termicznej (ok. 60°C). Intensywny pożar dotyczył obszaru o wymiarach 100 × 20 m na skarpie dolnej, w południowo-zachodniej części składowiska. Gwałtownym procesom termicznym towarzyszyło wydzielanie się gazów pożarowych. Zaobserwowano także podwyższoną zawartość tlenu i dwutlenku węgla w atmosferze wewnątrz składowiska. W 2004 r. na badanym obiekcie zlokalizowano kolejne miejsca o podwyższonej aktywności termicznej (także w południowej części składowiska). Pomiar temperatury materiału zwałowego przeprowadzono również w odwiertach badawczych wykonanych z poziomu półek retencyjnych do spągu składowiska. W miejscach aktywnych termicznie podwyższona temperatura była notowana na całej głębokości odwiertu. Należy nadmienić, iż przed 2003 r. składowisko „Waleska” nie było objęte monitoringiem stanu termicznego (Korski, Friede, Henslok 2006).

W przypadku hałdy 1/R pomiary temperatury powierzchni i wnętrza obiektu wykonane w 2004 r. wskazują na istnienie obszarów, gdzie miejscami zachodzą intensywne procesy termiczne. Maksymalna temperatura wnętrza, mierzona 1 m pod powierzchnią ziemi, wynosiła 390°C. Ponadto zmierzona temperatura zwału oraz stężenia gazów pożarowych wskazują na możliwość intensyfikacji procesów termicznych w niektórych rejonach hałdy. Wschodnia część hałdy to teren, na którym w ostatnich latach była prowadzona eksploatacja przepalonego łupku powęglowego, zalegającego tu na całym przekroju obiektu. Odwierty wykonane w miejscach nieaktywnych termicznie wskazały na występowanie dużych ilości przepalonego odpadu powęglowego. Przeprowadzone badania potwierdziły, że hałda 1/R jest obiektem charakteryzującym się od wielu lat aktywnością termiczną.

Na podstawie omówionych przykładów można wymienić słabe strony stosowania omawianej metody, co wpływa niekorzystnie na uzyskiwane rezultaty.

Dotychczasową metodę prognozowania zagrożenia pożarowego zwałowisk odpadów powęglowych cechuje duża ilość czynników określających w sposób pośredni szczelność nasypu (czynniki nr 2, 3, 4, 5, 9). Brak jest natomiast czynnika charakteryzującego parametr ten w sposób bezpośredni. Określenie właściwości fizycznych odpadów (wielkość ziaren, zdolność do rozmakania), oraz ocena stosowanej technologii (sposób transportu, metody prewencji pożarowej), nie pozwalają na precyzyjną ocenę jakości wykonanych nasypów, a więc parametru charakteryzującego ich rzeczywistą szczelność.

Wydaje się, że wartość liczbowa niektórych czynników wchodzących w skład omawianej metody jest niedoszacowana (czynnik nr 10) lub przeszacowana (czynniki nr 7, 9) w odniesieniu do wartości pozostałych czynników oraz do rzeczywistego ich wpływu na stan termiczny zwału. Podobnie w przypadku czynnika nr 8, gdzie wartość liczbowa wydaje się nieadekwatna do stanu rzeczywistego, ponieważ w praktyce spotyka się niemal wyłącznie obiekty o kubaturze powyżej 200 tys. m<sup>3</sup>.

Wartości niektórych czynników są bardzo trudne do oszacowania. W przypadku czynnika nr 7 zastosowanie „płynnego” zakresu liczbowego, może diametralnie zmienić uzyskane rezultaty. W tej sytuacji nie określono również klucza, według którego



należy przyjmować wartość liczbowa z podanego przedziału liczbowego. W przypadku czynnika nr 2 zaleca się, aby rozmiary największych brył zawartych w odpadach, były określane w sposób szacunkowy, tzn. na podstawie oględzin, bez ustalania ilościowego udziału poszczególnych frakcji w nasypie zwałowiska.

### **3. MODYFIKACJA METODY OCENY I KLASYFIKACJI ZAGROŻENIA POŻAROWEGO NA TERENACH LOKOWANIA ODPADÓW POWĘGLOWYCH**

W oparciu o omówione czynniki, wpływające niekorzystnie na rezultaty stosowania dotychczasowej metody oceny i klasyfikacji zagrożenia pożarowego, przyjęto następujące założenia, które należy uwzględnić przy jej modyfikacji:

1. Ograniczenie ilości stosowanych czynników wyznaczających pośrednio szczelność nasypów oraz zmniejszenie zakresu badań laboratoryjnych przez zastąpienie ich czynnikiem określającym żądany parametr w sposób bezpośredni.
2. Określenie zagrożenia powstaniem samozagrzania, w oparciu o czynniki wyznaczone w badaniach *in situ*, tzn. bezpośrednio podczas wizytacji obiektu oraz na podstawie analizy istniejących danych archiwalnych, charakteryzujących obiekt i odpady.
3. Wykluczenie z końcowej klasyfikacji zwałowisk kategorii I – brak zagrożenia, która wskazuje, że na danym obiekcie na pewno nie wystąpią pożary endogeniczne. Praktyka pokazuje jednak, że każdy obiekt uformowany z odpadów powęglowych jest narażony na wystąpienie samozagrzania.
4. Skupienie się na analizie czynników decydujących o stanie termicznym obiektu, w oparciu o jego najbardziej newralgiczne miejsca, tj. skarpy napowietrzne, nasłonecznione lub o największym nachyleniu.
5. Określenie skłonności odpadów do samozapalenia na podstawie danych archiwalnych, tj. ustalenie czy dany odpad lokowany na badanym zwałowisku lub na innych obiektach ulegał w przeszłości samozagrzewaniu. Informacja ta wydaje się bardziej reprezentatywna niż laboratoryjne definiowanie wskaźnika samozapalności. Z doświadczenia wynika bowiem, że na wielu zwałowiskach zbudowanych z odpadów wykazujących całkowity brak skłonności do samozapalenia, notowano podwyższony stan termiczny. W przypadku braku wiarygodnych danych archiwalnych postuluje się, aby dany obiekt był traktowany jako bardziej narażony na powstawanie pożarów.

Niniejsza modyfikacja metody zakłada uwzględnienie następujących czynników decydujących o możliwości wystąpienia samozagrzania:

- typ zwałowiska, jego konfiguracja i zorientowanie w terenie,
- wcześniejsze przypadki samozapalenia odpadów, ustalone na podstawie weryfikacji danych archiwalnych i/lub badań bieżących,
- zakres i częstotliwość prowadzonego monitoringu stanu termicznego obiektu,
- określenie wskaźnika zagęszczenia odpadów wbudowanych w nasyp,
- właściwości fizyczne odpadów powęglowych zalegających na obiekcie.



Pomimo ograniczenia ilości czynników z dziesięciu do pięciu, ilość i jakość informacji stanowiących o możliwościach wystąpienia stanu termicznego wzrosła (tab. 5).

**Tabela 5.** Porównanie zakresu analizowanych czynników w metodzie z 1996 r. oraz metodzie zmodyfikowanej

Lp.	Uwzględniany parametr	Informacje uwzględniane w metodzie z 1996 r.	Informacje uwzględniane w metodzie zmodyfikowanej
1	Sklonność odpadów do samozapalenia	Uwzględniana analogicznie do badania samozapalności węgla w badaniach laboratoryjnych	Oceniana na podstawie danych archiwalnych o występującym stanie termicznym, dotyczącym obiektu badanego i innych obiektów formowanych z odpadów, z tego samego zakładu górniczego/pokładu
2	Rozmiary największych brył występujących w odpadach	Na podstawie danych z zakładu przerobczego, skąd pochodzi odpad lub ogładzin obiektu	Informacje zebrane w wyniku badań właściwości fizycznych materiału haldowego, sezonowanego na obiekcie
3	Udział w materiale zwalowym frakcji drobnziarnistych	Na podstawie danych z zakładu przerobczego, skąd pochodzi odpad lub ogładzin obiektu	Informacje zebrane w wyniku badań właściwości fizycznych materiału haldowego, sezonowanego na obiekcie
4	Zdolność odpadów do rozmakania	Na podstawie badania próbek poddanej 14-dniowej degradacji pod wpływem wody	Informacje pośrednie uzyskane na podstawie badań właściwości fizycznych odpadu z haldy, odniesione do właściwości odpadu świeżego
5	Typ zwalowiska	Przyporządkowanie do IV kategorii ze względu na ukształtowanie	Przyporządkowanie do II kategorii ze względu na ukształtowanie
6	Wysokość obiektu	Przyporządkowanie do IV kategorii ze względu na wysokość	Ze względu na stwierdzony w obserwacjach brak takiej zależności, parametr ten nie jest rozpatrywany
7	Kubatura obiektu	Przyporządkowanie do IV kategorii ze względu na kubaturę	Ze względu na stwierdzony w obserwacjach brak takiej zależności czynnik ten nie jest rozpatrywany
8	Rodzaj transportu odpadów	Przyporządkowanie do IV kategorii ze względu na rodzaj transportu	Rodzaj transportu może wpłynąć wyłącznie na zagęszczenie materiału, więc czynnik ten uwzględniono w badaniu wskaźnika zagęszczenia
9	Stosowane metody prewencji	Rozpoznanie dotyczyło sześciu operacji stosowanych na obiektach, celem zwiększenia zagęszczenia materiału zwalowego	Oceniany jest efekt tych działań przez badanie zagęszczenia odpadów powęglowych w nasypie
10	Monitoring	Oceniany jest zakres badań aktywności termicznej	Oceniany jest zakres i częstotliwość badań aktywności termicznej
11	Właściwości fizyczne odpadów zalegających na obiekcie (sezonowanych)	Brak bezpośredniej oceny tego parametru	Oceniany w badaniu krzywej ziarnowej, porównywany z krzywymi granicznymi stosu okrucowego
12	Badanie bezpośrednie wskaźnika zagęszczenia	Brak bezpośredniej oceny czynnika tego parametru	Uznane za jedne z podstawowych informacji stanowiących o możliwości wystąpienia samozagrzania, określane na podstawie badań polowych
13	Klasyfikacja obiektu	V kategorii	IV kategorii (brak kategorii I) wraz z propozycją minimalnych działań naprawczych i prewencyjnych dla każdej kategorii

Jak wynika z powyższego zestawienia, zmodyfikowana metoda jest zdecydowanie bardziej ukierunkowana na analizę skutków prowadzonych działań, niż na stwierdzenie ich wykonywania na obiekcie. Obserwuje się także duży nacisk na bezpośrednie analizy parametrów fizycznych odpadów i nasypów z nich wykonywanych.

Poniżej omówiono zasady oceny poszczególnych czynników, mających wpływ na stan termiczny obiektów formowanych ze skały płonnej.

### 3.1. Typ zwałowiska i jego konfiguracja

Procesowi samozagrzewania ulegają wyłącznie obiekty nadpoziomowe, w związku z tym zarówno w metodzie pierwotnej, jak i zmodyfikowanej, prowadzona jest analiza ukształtowania obiektu. W przekształconej już metodzie proponuje się podział obiektów zbudowanych z odpadów powęglowych na podpoziomowe i nadpoziomowe. Pod pojęciem nadpoziomowe rozumie się obiekty posiadające skarpy (w tym także niewypełnione w stu procentach wyrobiska i zagłębienia terenu).

### 3.2. Wcześniejsze przypadki samozapalenia odpadów (skłonność odpadów do samozapalenia)

Informacje archiwalne dotyczące występowania stanu termicznego, to jedne z podstawowych danych pozyskiwanych w trakcie oceny zagrożenia pożarowego. Najważniejsza jest zatem ocena występowania w przeszłości zjawisk termicznych na badanym obiekcie lub na innych obiektach uformowanych z odpadów z tej samej kopalni. W miarę możliwości należy również ustalić, czy przyczyną wystąpienia zjawisk termicznych było samozagrzewanie odpadów, czy możliwe działanie człowieka. Należy przyjąć, iż w przypadku występowania w zwale materiału zawierającego części palne na obszarach, gdzie występowały w przeszłości podwyższone temperatury, może wystąpić stan termiczny. Skłonność odpadów do samozapalenia określa się wtedy jako dużą. W przypadku, gdy na analizowanym obiekcie i na innych obiektach zbudowanych z tych samych odpadów nie notowano podwyższonego stanu termicznego, skłonność odpadów do samozapalenia można określić jako małą. Brak danych archiwalnych dotyczących analizowanego odpadu narzuca profilaktyczne przyjęcie dużej skłonności do samozapalenia.

### 3.3. Zakres i częstotliwość monitoringu

Jak wspomniano, stan termiczny obiektu formowanego z odpadów powęglowych najlepiej obrazują wyniki prowadzonych okresowo badań stanu termicznego. Kompletnie dane o temperaturach wnętrza obiektu i składzie gazów wewnątrz nasypów to najważniejsze informacje z punktu widzenia prognozowania możliwości występowania zjawisk pożarowych (Łączny, Baran, Ryszko 2012). Jako dopuszczalny zakres obserwacji stanu termicznego, przyjmuje się badania obejmujące:

- szczegółowe oględziny obiektu (co najmniej raz w miesiącu),
- pomiary temperatury powierzchni obiektu metodą bezdotykową (przynajmniej co kwartał),
- pomiary temperatury wnętrza obiektu na głębokości około 1 m, w wyznaczonych punktach pomiarowych, w wytypowanych najbardziej newralgicznych miejscach obiektu (co najmniej co pół roku),
- pomiar stężenia gazów pożarowych (CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) w atmosferze wnętrza zwału, tj. na głębokości około 1 m, w wyznaczonych punktach pomiarowych (przynajmniej co pół roku).

Prowadzony w ten sposób monitoring określa się jako wystarczający. Badania prowadzone z mniejszą częstotliwością lub w mniejszym zakresie są zdecydowanie niewystarczające.

### 3.4. Badania zagęszczenia materiału zwałowego

Jedną ze znaczących zmian wprowadzonych w omawianej metodzie jest rezygnacja z analizy właściwości materiału zwałowego w sposób pośredni (przez badania laboratoryjne i ocenę stosowanej technologii). Zastąpiono je badaniami bezpośrednimi istniejących nasypów.

Wieloletnie doświadczenie z monitorowania różnego rodzaju zwałowisk odpadów powęglowych oraz składów węgla pozwala zauważyć, że najczęstszą przyczyną występowania samozagrzania jest napowietrzenie wnętrza takich obiektów.

Bezpośredni wpływ na dostęp tlenu do wnętrza obiektu ma zagęszczenie odpadów. Nawet obiekty formowane z węgla lub miału węglowego, prowadzone w odpowiedni sposób, tzn. wysoko zagęszczone, nie wykazują zjawisk termicznych.

Informacje o zagęszczeniu poszczególnych fragmentów składowisk są kluczowe dla całej zmodyfikowanej metody i zastępują szereg czynników uwzględnianych w metodzie pierwotnej, jak np. technologię zwałowania i prewencji pożarowej, rodzaj transportu, zdolność odpadów do rozmakania oraz udział w materiale odpadów drobnoziarnistych.

W niniejszej pracy przyjęto wskaźnik zagęszczenia  $I_s$ , jako mierzalny parametr obrazujący zagęszczenie materiału hałdowego. Obecnie przy formowaniu nasypów z odpadów powęglowych zaleca się zwykle zagęszczenie materiału do poziomu  $I_s = 0,95$ . W związku z tym, przy ocenie istniejących obiektów, w ramach omawianej metody, przyjmuje się zagęszczenie na takim właśnie poziomie, jako odpowiednie dla zapewnienia właściwej szczelności nasypów. Zagęszczenie poniżej tego poziomu uznaje się za niewystarczające. Wyznaczenie wskaźnika zagęszczenia nasypów dla wytypowanych wcześniej najbardziej newralgicznych miejsc badanego obiektu, należy wykonać w co najmniej 10 punktach (w siatce  $50 \times 50$  m), przy użyciu jednej z metod stosowanych dla gruntów nasypowych (Pisarczyk 2004).

### 3.5. Właściwości fizyczne odpadów powęglowych zalegających na obiekcie

W przypadku stwierdzenia niewystarczającego zagęszczenia materiału w danym fragmencie hałdy należy ustalić przyczynę tego stanu. Prowadzi to do określenia charakteru zjawiska – ma ono charakter lokalny i wynika przykładowo z niedotrzymania reżimu technologicznego. Możliwa jest także sytuacja, gdy materiał składowany nie jest zagęszczalny w odpowiednim stopniu, co prowadzi do niedostatecznego zagęszczenia całego badanego obiektu.

Mając na uwadze wcześniejsze spostrzeżenia, przyjęto kolejne badanie, jako nowy element zmodyfikowanej metody. Jest to badanie krzywych uziarnienia dla materiału hałdowego (sezonowanego).

**Badanie krzywych uziarnienia** ma na celu wykazanie, czy konstrukcja nasypów z konkretnego rodzaju odpadu powęglowego pozwoli na uzyskanie wymaganej ścisło-

ści (zagęszczenie) i szczelności. Obie te cechy są w dużym stopniu współzależne i ściśle wiążą się z uziarnieniem mieszanki gruntowej i technologii wykonania nasypów.

W związku z dużymi wymaganiami dotyczącymi szczelności wykonywanej warstwy, jakie obecnie stawia się nasypom na obiektach formowanych z odpadów powęglowych, należy stwierdzić, że osiągnięcie wysokich wskaźników  $I_s$  warstwy zbudowanej z materiałów typu skała płonna narzuca konieczność:

- Zastosowania materiału o odpowiednio zróżnicowanym uziarnieniu (najlepiej, gdy wskaźnik różnoziarnistości materiału  $U = d_{60}/d_{10} > 5$ ).
- Osiągnięcia w formowanym nasypie wskaźnika zagęszczenia równego 0,95. Wymusza to zagęszczenie materiału warstwami z użyciem walców wibracyjnych lub innego ciężkiego sprzętu budowlanego. Grubość zagęszczanych warstw materiału powinna być nie większa niż 0,5 m. Wilgotność materiału powinna być zbliżona do wilgotności optymalnej, ustalonej w badaniach metodą Proctora, natomiast średnica najgrubszych okruchów skalnych w materiale nie może przekraczać 1/3 grubości zagęszczanej warstwy (Skarżyńska 1997).

Zdolność materiału do zagęszczenia (tu odpadów powęglowych) można określić przez analogię do mieszanek betonowych. Z teorii i praktyki projektowania mieszanek betonowych (Kuczyński 1972) wynika, że uziarnienie w pierwszym rzędzie wpływa na ścisłość mieszanki kruszywowej. Największą ścisłość można osiągnąć tylko za pomocą najdrobniejszych frakcji (pyłów), tworząc mieszanki o dużej powierzchni wewnętrznej.

Kruszywa nieciągle, dobrze uziarnione, mają szczególnie dobrą urabialność, gdyż tarcie wewnętrzne jest mniejsze na skutek zmniejszonego efektu wewnętrznego ściany, co daje zwiększoną zagęszczalność. Kruszywa nieciągle mieszają się trudniej – kruszywo ciągle, rozłożone na frakcje, tylko z trudem daje się ponownie wymieszać do pierwotnej homogeniczności. Kruszywo nieciągle wymaga większej pracy zagęszczania. Z badań Kuczyńskiego (1972) nad uziarnieniem kruszyw do betonów wynika, że istotne są właściwości charakteryzujące stos okruchowy o dużej ścisłości i wysokim wskaźniku uziarnienia. Kruszywa nieciągle nadają się przede wszystkim do betonów niskowodnych o bardzo dużej wytrzymałości, przy szczególnie starannym dozowaniu i mieszaniu oraz użyciu mechanicznego zagęszczania. Przy projektowaniu szczelnych betonów wymaga się, aby ilość spoiwa (zaczynu cementowego) była możliwie niska, wystarczająca do całkowitego wypełnienia wszystkich pustek i otulenia ziaren w stosie okruchowym.

Stosując powyższą zasadę do ustalania, czy występujący w hałdzie materiał jest dostatecznie zagęszczalny, przyjęto, że rolę wypełniacza i spoiwa spełniają ziarna ilaste, będące produktem degradacji mechanicznej w czasie zagęszczania oraz degradacji pod wpływem warunków atmosferycznych. Ziarna ilaste pod wpływem wilgoci ulegają spęcznieniu, dzięki czemu szczelnie wypełnią pustki międzyziarnowe.

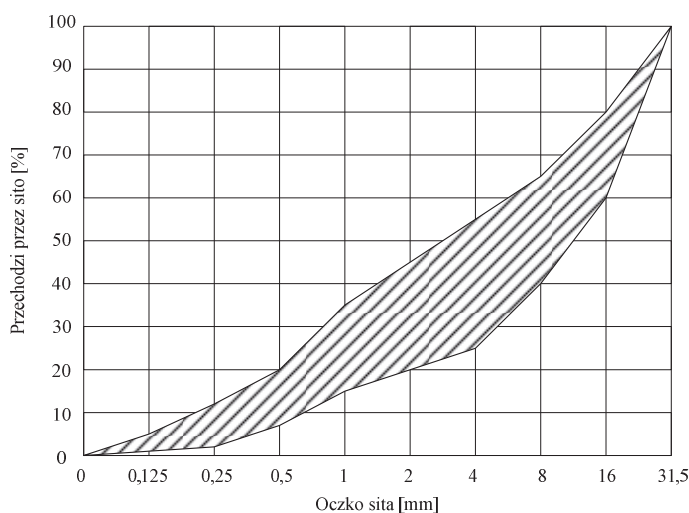
W związku z tym przyjęto, iż punktem wyjścia przy ocenie materiału hałdowego pod względem zdolności do zagęszczania, będą badania krzywej ziarnowej wytypowanego materiału. Krzywą ziarnową należy zestawić z krzywymi ziarnowymi gra-

nicznymi (tzw. krzywymi dobrego uziarnienia), gwarantującymi szczelność praktyczną stosu okruszowego.

Obiekty uformowane ze skały płonnej o krzywej ziarnowej zawierającej się między krzywymi granicznymi, należy uznać za mniej narażone na występowanie stanu termicznego.

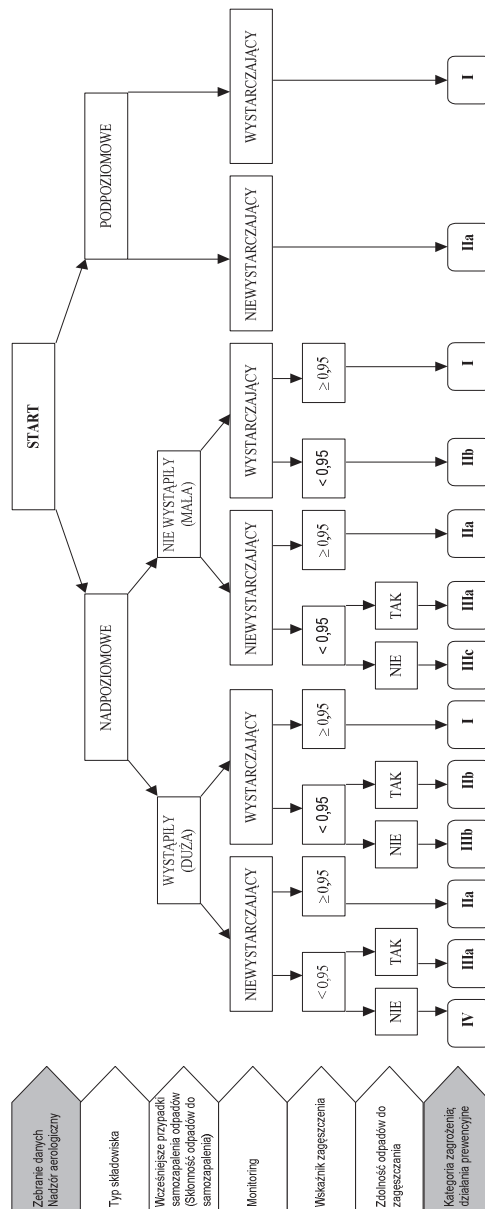
W sytuacji, gdy krzywe ziarnowe skały płonnej pobranej z określonego fragmentu obiektu będą zawarte między krzywymi granicznymi oznacza to, że istnieją techniczne możliwości, aby powierzchnie takie doszczelnić, wykorzystując ciężki sprzęt. W ten sposób zminimalizowane zostanie ryzyko zwiększonego napowietrzenia, a tym samym wystąpienia samozagrzania. Ponadto można wnioskować, że niedostateczne zagęszczenie materiału w danym rejonie hałdy jest wynikiem błędu w technologii formowania nasypów w przeszłości lub niedotrzymania wytycznych technologicznych. W tej sytuacji istnieje szansa, że niedostateczne zagęszczenie ma charakter lokalny i zasadne są dalsze badania wskaźnika zagęszczenia innych rejonów hałdy, tak aby zidentyfikować rejon słabo zagęszczone. W takim przypadku proponuje się określić odpady jako zagęszczalne.

Jeżeli badania wykazały, że krzywe ziarnowe przebiegają poza obszarem ograniczonym krzywymi granicznymi, problem niedostatecznego zagęszczenia będzie dotyczyć całej masy deponowanych odpadów (odpady nie są zagęszczalne). Ewentualne dogęszczenie powierzchniowej warstwy odpadów może odbywać się skutecznie wyłącznie po uprzednim doziarnieniu odpadów tam zalegających o brakujące frakcje (rys. 1).



**Rys. 1.** Obszar dobrego uziarnienia kruszywa dla maksymalnej średnicy ziaren 31,5 mm (Osiecka 2005)

**Fig. 1.** The area of the good granulation of the aggregate with the maximum grain diameter of 31.5 mm (Osiecka 2005)



Rys. 2. Algorytm zmodyfikowanej metody oceny i klasyfikacji zagrożenia pożarowego na terenach lokowania odpadów powęglowych

Fig. 2. The algorithm of the modified method for the assessment and classification of the fire hazard at the areas of coal mining waste locating



### 3.6. Algorytm zmodyfikowanej metody oceny i klasyfikacji zagrożenia pożarowego na obiektach uformowanych z odpadów powęglowych

Zaprezentowany poniżej algorytm zmodyfikowanej metody oceny i klasyfikacji zagrożenia pożarowego na terenach lokowania odpadów powęglowych (rys. 2), oparto na czynnikach omówionych w poprzednich podpunktach. Uwzględniono:

- typ zwałowiska,
- skłonność odpadów do samozapalenia,
- zakres i częstotliwość monitoringu,
- wskaźnik zagęszczenia nasypów,
- właściwości fizyczne odpadów (zagęszczalność).

Wyboru opcji charakteryzujących dany czynnik należy dokonać w oparciu o tabelę 6, zaś klasyfikacji zagrożenia pożarowego, biorąc pod uwagę tabelę 7.

W tabeli 6 zestawiono proponowane opcje dla poszczególnych czynników. W celu polepszenia czytelności prowadzonej oceny oraz dla jej uproszczenia przyjęto, że każdy analizowany czynnik charakteryzować będą dwie opcje:

- opcja „zadowalająca”, zmniejszająca ryzyko powstawania ognisk pożarowych; oznaczona jako „+”,
- opcja „niezadowalająca”, zwiększająca ryzyko powstawania ognisk pożarowych; oznaczona jako „-”.

**Tabela 6.** Opcje czynników prognozy zagrożenia pożarowego

Lp.	Czynnik	Mniejsze zagrożenie +	Większe zagrożenie -
1	Typ zwałowiska	podziemowe	nadziemowe
2	Wcześniejsze przypadki samozapalenia się odpadów (skłonność odpadów do samozapalenia)	nie wystąpiły (mała)	wystąpiły (duża)
3	Zakres i częstotliwość monitoringu	wystarczające	niewystarczające
4	Wskaźnik zagęszczenia	wystarczający	niewystarczający
5	Właściwości fizyczne odpadów (zagęszczalność)	zagęszczalne	niezagęszczalne

W tabeli 7 zaproponowano klasyfikację zagrożenia pożarowego (kategorie I–IV), uzupełnioną o wskazanie minimalnego zakresu działań prewencyjno-naprawczych, niezbędnych do realizacji przy danym zagrożeniu. Ponadto w kategoriach II i III wprowadzono podkategorie, celem wskazania niezbędnego zakresu działań prewencyjno-naprawczych, które mogą być różne w przypadku obiektów tej samej kategorii zagrożenia pożarowego.

Tabela 7. Klasyfikacja zagrożenia pożarowego na zwałowiskach odpadów powęglowych

Kategoria	Zagrożenie	Podkategoria	Minimalny zakres działań prewencyjno-naprawczych
I	małe	–	działania szczególne dla danego obiektu
II	średnie	a	objęcie obiektu monitoringiem lub poprawa monitoringu, inne działania szczególne
		b	uszczelnienie/zagęszczenie nasypów
III	duże	a	objęcie obiektu monitoringiem lub poprawa monitoringu, uszczelnienie/zagęszczenie nasypów
		b	doziarnienie odpadów materiałem o odpowiedniej frakcji, uszczelnienie/zagęszczenie nasypów
		c	objęcie obiektu monitoringiem lub poprawa monitoringu, doziarnienie odpadów materiałem o odpowiedniej frakcji, uszczelnienie/zagęszczenie nasypów
IV	bardzo duże	–	objęcie obiektu monitoringiem lub poprawa monitoringu, doziarnienie odpadów materiałem o odpowiedniej frakcji, uszczelnienie/zagęszczenie nasypów

#### 4. WERYFIKACJA SKUTECZNOŚCI OPRACOWANEJ ZMODYFIKOWANEJ METODY. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

W celu potwierdzenia skuteczności stosowania zmodyfikowanej metody oceny zagrożenia pożarowego zwałowisk odpadów powęglowych, dokonano oceny i klasyfikacji dwóch wytypowanych wcześniej zwałowisk odpadów powęglowych: składowiska „Waleska” w Łaziskach Górnych oraz zwałowiska hałda 1/R w Zabrze-Mikulczycach<sup>1</sup>.

Jako miejsca najbardziej newralgiczne na tych obiektach z punktu widzenia zagrożenia pożarowego wytypowano skarpy południowo-zachodnie, które zazwyczaj są najbardziej napowietrzane oraz narażone na zwiększone oddziaływanie promieni słonecznych.

Przed przystąpieniem do oceny zebrano dane archiwalne dotyczące obu obiektów oraz zalegających na nich odpadów i dokonano ich analizy. Na obiektach przeprowadzono również badania polowe, obejmujące:

- pomiary temperatury powierzchni obiektu metodą bezdotykową,
- pomiary temperatury wnętrza obiektu,
- pomiary stężenia gazów pożarowych (CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) na głębokości około 1 m w wyznaczonych punktach pomiarowych (gęstsza siatka punktów w miejscach newralgicznych, wyrywkowe badania w pozostałych partiach obiektów),
- określenie wskaźnika zagęszczenia nasypów.

Na obu zwałowiskach, w wytypowanych miejscach, wykonano również otwory kontrolne (w postaci odwiertów lub wykopów o głębokości do 12 m). Dzięki temu przeprowadzono pomiar temperatury materiału, pomiar stężeń gazów pożarowych oraz pobrano próbki odpadów, celem oceny ich właściwości fizycznych pod kątem zdolności do zagęszczania.

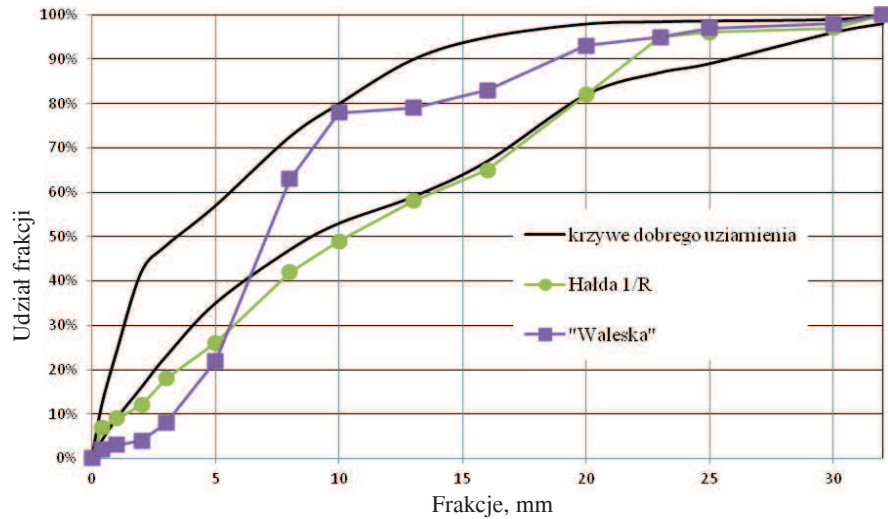
W tabeli 8 przedstawiono wszystkie czynniki zmodyfikowanej metody, które charakteryzują analizowane objekty. W celach porównawczych zmodyfikowaną metodę

<sup>1</sup> Postąpiono podobnie, jak w przypadku uzasadnienia celowości modyfikowania metody pierwotnej.

zastosowano również dla uformowanej w ostatnich latach nowej części zrehabilitowanego zwałowiska „Skalny” w Łaziskach Górnych, dla którego Główny Instytut Górnictwa posiada komplet niezbędnych danych (Gogola, Bajerski i in. 2002; Korski, Henslok, Bodynek 2004).

**Tabela 8.** Ocena i klasyfikacja zagrożenia pożarowego na wybranych zwałowiskach odpadów powęglowych

Lp.	Obiekt	Opcja czynnika	Uzasadnienie
<b>Typ zwałowiska</b>			
1	„Waleska”	nadpoziomowe	–
	Halda 1/R	nadpoziomowe	–
	„Skalny”	nadpoziomowe	–
<b>Skłonność odpadów do samozapalenia</b>			
2	„Waleska”	duża	Obiekt wykazuje obecnie aktywność termiczną. Odpady powęglowe kopalni „Bolesław Śmiały” cechuje ponadto skłonność do samozapalenia (patrz zwałowisko „Skalny”).
	Halda 1/R	duża	Obiekt wykazuje (miejscami znaczną) aktywność termiczną. Stwierdzono zaleganie w starszej części haldy dużych ilości przepalonego łupka, co wskazuje, że obiekt był aktywny termicznie od wielu lat.
	„Skalny”	duża	Obiekt wykazywał w przeszłości znaczną aktywność termiczną, obecnie notuje się jeszcze podwyższone temperatury na „starej” części zwałowiska.
<b>Częstotliwość i zakres monitoringu</b>			
3	„Waleska”	wystarczające	Częstotliwość i zakres monitoringu spełniają warunki określone jako wystarczające.
	Halda 1/R	niewystarczające	Poprzednie badania stanu termicznego wykonano w latach 70. XX w.
	„Skalny”	wystarczające	Częstotliwość i zakres monitoringu spełniają warunki określone jako wystarczające, ponadto prowadzona jest stała bieżąca kontrola zagęszczenia formowanych nasypów.
<b>Wskaźnik zagęszczenia nasypów</b>			
4	„Waleska”	< 0,95	Średnia wartość wskaźnika $I_s$ określona na podstawie sondowania w siedmiu punktach.
	Halda 1/R	< 0,95	Średnia wartość wskaźnika $I_s$ określona na podstawie sondowania w czterech punktach.
	„Skalny”	≥ 0,95	Na obiekcie prowadzona jest stała bieżąca kontrola zagęszczenia nasypów.
<b>Zdolność odpadów do zagęszczania</b>			
5	„Waleska”	tak	Krzywa ziarnowa dla odpadów, z których uformowane są nasypy obiektu wskazuje, że istnieją techniczne możliwości doszczelnienia powierzchni zwału (rys. 3).
	Halda 1/R	nie	Krzywa ziarnowa przebiega w tym przypadku poza obszarem ograniczonym krzywymi granicznymi. Wynika z tego, że problem niedostatecznego zagęszczenia dotyczy całej masy odpadów, a ewentualne dogęszczenie powierzchniowej warstwy może odbywać się skutecznie jedynie po uprzednim doziarnieniu odpadów tam zalegających (rys. 3).
	„Skalny”	tak	Badań nie wykonywano, gdyż wskaźnik zagęszczenia nasypów jest na poziomie akceptowalnym.
<b>Kategoria zagrożenia i niezbędny zakres działań prewencyjnych</b>			
6	„Waleska”	IIIb duże zagrożenie	Na obiekcie należy wykonać zagęszczenie nasypów na skarpach (opcjonalnie można wykonać doszczelnienie nasypów metodami iniekcyjnymi).
	Halda 1/R	IV bardzo duże zagrożenie	Nasypy obiektu należy uszczelnąć przez odziarnienie, a następnie dodatkowo zagęścić (opcjonalnie można wykonać szczelną okrywą rekultywacyjną).
	„Skalny”	I małe zagrożenie	Oceniane czynniki wskazują, że formowanie nasypów rekultywacyjnych w „nowej” części zwałowiska „Skalny” jest realizowane prawidłowo, z dochowaniem wymaganego reżimu technologicznego.



Rys. 3. Krzywe ziarnowe odpadów z obiektów „Waleska” i hałda 1/R

Fig. 3. The grain composition curves on waste from the "Waleska" and the slag heap 1/R

## 5. WNIOSKI

Zmodyfikowana metoda oceny i klasyfikacji zagrożenia pożarowego na terenach lokowania odpadów powęglowych zakłada, iż kluczowym czynnikiem warunkującym klasyfikację obiektu jest zakres i częstotliwość monitoringu stanu termicznego. Stały monitoring zwałowiska wyklucza powstanie pożaru, gdyż każde niepokojące zjawisko zostanie w porę zauważone, a działania naprawcze będą podjęte stosunkowo szybko.

Przepisy prawne w zakresie ochrony środowiska pozwalają w niektórych sytuacjach traktować proces deponowania odpadów powęglowych na powierzchni, jako działanie inne niż składowanie. Pomimo to należałoby dla obiektów zbudowanych z odpadów powęglowych zastosować co najmniej tak restrykcyjne przepisy w zakresie czasu i częstotliwości monitoringu, jak w przypadku składowisk odpadów<sup>2</sup>.

Kolejnym aspektem odróżniającym zmodyfikowaną metodę od jej pierwowzoru jest sposób oceny jakości prowadzonych na danym obiekcie robót. W pierwotnej wersji, oceny właściwości materiału zwałowego dokonywano w sposób pośredni, tzn. przez badania laboratoryjne i ocenę stosowanej technologii. W prezentowanej modyfikacji proponuje się ocenę efektów prowadzonej działalności, tj. parametrów wykonanych nasypów. Informacje na temat zagęszczenia poszczególnych fragmentów składowisk są kluczowe dla całej modyfikowanej metody. Zastępują one również szereg czynników uwzględnianych w metodzie pierwotnej, jak np. technologię zwałowania i prewencji pożarowej czy rodzaj transportu.

<sup>2</sup> Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2002 r. w sprawie zakresu, czasu i sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów nakazuje m.in. prowadzenie monitoringu składowiska odpadów przez okres 30 lat po jego zamknięciu.

Przedstawione w niniejszej pracy zmiany i uzupełnienia pierwotnej metody oceny i klasyfikacji zagrożenia pożarowego na zwałowiskach odpadów powęglowych powinny przyczynić się do zwiększenia jej skuteczności. Stosowanie zmodyfikowanej metody pozwoli na jej bieżącą weryfikację oraz ewentualne korekty lub uzupełnienia.

#### Literatura

1. Bystrzeński H., Urbański H. (1975): Metoda oceny zagrożenia pożarowego zwałów węgla. *Wiadomości Górnicze* nr 3, s. 73–82.
2. Bystrzeński H., Urbański H. i inni (1980): Wytyczne zapobiegania pożarom usypisk odpadów kopalnianych oraz likwidacji istniejących pożarów. Katowice, Praca badawczo-rozwojowa Głównego Instytutu Górnictwa (niepublikowana).
3. Frączek R. (2007): Rozpoznanie, profilaktyka i zwalczanie pożarów w kopalniach głębinowych. Gliwice, Wydane nakładem Katedry Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa Politechniki Śląskiej.
4. Gogola K., Bajerski A. i inni (2003): Technologia likwidacji zjawisk termicznych na południowej skarpie składowiska odpadów powęglowych „Waleska” KWK Bolesław Śmiały. Katowice, Dokumentacja pracy badawczo-usługowej Głównego Instytutu Górnictwa (niepublikowana).
5. Gogola K., Bajerski A. i inni (2002): Projekt ostatecznej rekultywacji składowiska odpadów powęglowych przy szybie „Skalny” KWK Bolesław Śmiały. Katowice, Dokumentacja pracy badawczo-usługowej Głównego Instytutu Górnictwa (niepublikowana).
6. Gogola K., Bajerski A. i inni (2004): Projekt rekultywacji hałdy 1/R w Zabrze-Mikulczycach. Katowice, Dokumentacja pracy badawczo-usługowej Głównego Instytutu Górnictwa (niepublikowana).
7. Gumińska J., Różański Z. (2005): Analiza aktywności termicznej śląskich składowisk odpadów powęglowych. *Karbo* nr 1, s. 53–58.
8. Korski J., Friede R., Henslok P. (2006): Likwidacja egzogenicznych ognisk pożarowych składowiska odpadów pogórnicznych „Waleska” w Łaziskach Górnych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo* z. 271, s. 83–95.
9. Korski J., Henslok P., Bodynek P. (2004): Doświadczenia z likwidacji zapożarowania składowiska odpadów powęglowych „Skalny” w Łaziskach Górnych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo: Konferencja „Górnictwo zrównoważonego rozwoju”* z. 261, s. 463–474.
10. Kuczyński W. (1972): Technologia betonu, część 2. W: *Budownictwo betonowe*, t. 1. Warszawa, „Arkady”.
11. Łączny M.J., Baran J., Ryszko A., red. (2012): Opracowywanie i wdrażanie innowacyjnych technologii środowiskowych stosowanych na zwałowiskach odpadów powęglowych. Podstawy teoretyczno-metodyczne i przykłady praktyczne. Radom, Wydaw. Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji PIB, s. 211–274.
12. Łączny J.M., Iwaszenko S., Długosz J. (2009): System zarządzania zagrożeniem pożarowym na składowiskach odpadów powęglowych. *Wiadomości Górnicze* nr 12, s. 735–742.
13. Osiecka E. (2005): Materiały budowlane. Spoiwa mineralne, kruszywa. Warszawa, Oficyna Wydaw. Politechniki Warszawskiej.
14. Pisarczyk S. (2004): Grunty nasypowe. Właściwości geotechniczne i metody ich badania. Warszawa, Oficyna Wydaw. Politechniki Warszawskiej.
15. Rozporządzenie (2002): Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2002 r. w sprawie zakresu, czasu i sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów. *Dz. U.* nr 220, poz. 1858.

16. Szafer M. (1985): Nowe metody prewencji pożarowej i rekultywacji technicznej zwałów kopalnianych. Przegląd Górniczy nr 9, s. 299–302.
17. Skarżyńska K.M. (1997): Odpady powęglowe i ich zastosowanie w inżynierii lądowej i wodnej. Kraków, Wydaw. Akademii Rolniczej w Krakowie.
18. Urbański H. (1983): Metoda prognozowania samozapalenia się usypisk odpadów kopalnianych. Bezpieczeństwo Pracy w Górnictwie nr 3, s. 17–20.
19. Urbański H., Korczyńska K. (1996): Opracowanie zmodyfikowanej metody prognozowania zagrożenia pożarowego zwałowisk odpadów powęglowych. Katowice, Praca statutowa Głównego Instytutu Górnictwa (niepublikowana).