

M. Jacek Łączny, Paweł Olszewski*, Krzysztof Gogola*, Andrzej Bajerski**

CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA WYBÓR TECHNOLOGII PREWENCYJNYCH, PROFILAKTYCZNYCH I GAŚNICZYCH STOSOWANYCH NA OBIEKTACH UFORMOWANYCH Z ODPADÓW POWĘGLOWYCH

Streszczenie

W artykule przedstawiono technologie prewencyjne, profilaktyczne i gaśnicze stosowane w kraju i za granicą na obiektach uformowanych z odpadów powęglowych, w aspekcie czynników decydujących o ich wyborze.

Do najważniejszych metod prewencyjnych należą obecnie: dobór optymalnego uziarnienia składowanych odpadów powęglowych, zmniejszenie procentowego udziału zawartości węgla w materiale oraz wysokie zagęszczenie odpadów w fazie realizacji obiektu. Metody profilaktyczne, to: iniekcja otworowa i wykonywanie wierzchniej warstwy rekultywacyjnej. Metody doraźnego zwalczania zagrożenia pożarowego, to: iniekcja otworowa, wykonywanie rowów ekranujących (chlonych) i robót ziemnych, zastosowanie gazów obojętnych i antypirogenów, a także kontrolowane przepalenie zwalowiska.

W artykule podano przykłady zastosowania technologii na konkretnych obiektach wraz z oceną poszczególnych rozwiązań, stosowanego sprzętu oraz medium gaśniczego. Przeanalizowano również czynniki zewnętrzne i wewnętrzne, które zadecydowały o wyborze metody w przypadku wystąpienia podwyższonego stanu termicznego lub zjawisk pożarowych.

Factors influencing the selection of preventive, prophylactic and extinguishing technologies used on objects formed from coal wastes

Abstract

The article presents preventive, prophylactic and extinguishing technologies used in Poland and abroad on objects formed from coal wastes in the aspect of factors deciding about their selection.

To the most important preventive methods belong currently: the selection of optimum graining of disposed coal wastes, decrease of the percentage share of coal content in the material and high waste consolidation in the phase of object realisation. The prophylactic methods comprise: borehole injection and carrying out of the upper reclamation layer. The methods of immediate fighting of the fire hazard cover: borehole injection, carrying out of absorption trenches and earth work, application of inert gases and antipirogens as well as controlled burning of the dumping ground.

The article presents examples of application of technologies on specific objects, along with the assessment of individual solutions, equipment used and the extinguishing medium. Moreover, external and internal factors were analysed, which decided about the selection of the method in the case of occurrence of increased thermal state and fire phenomena.

* Główny Instytut Górnictwa

1. WPROWADZENIE

Na zwałowiskach odpadów pochodzących z wydobycia i przeróbki węgla kamiennego często obserwuje się zjawiska pożarowe. Są one zwykle wynikiem zastosowania nieodpowiedniej technologii składowania w powiązaniu z właściwościami fizyczno-chemicznymi lokowanej skały płonnej.

Pożary zwałowisk i podwyższony stan termiczny występują we wszystkich zagłębiach węglowych Europy, Azji i Afryki. Doniesienia z Rosji, Ukrainy lub Chin świadczą o skali problemu, który wydaje się tam dużo większy niż w Polsce i krajach Unii Europejskiej. Sposoby postępowania z zapożarowanymi obiektami w Polsce i na świecie są bardzo podobne.

Ocena stanu termicznego oraz działania i zabiegi praktyczne podejmowane na obiektach zapożarowanych zostały opisane w wielu pracach (Buchwald, Korski 2011; Czuber, Duchowski 1979; Gogola, Bajerski i in. 2003). Stosowanie w pracach gaśniczych metod iniekcyjnych, rowów chłonnych i gazów obojętnych na przykładzie łaziskich zwałowisk „Skalny” i „Waleska” (GZW), opisał Korski (Korski, Hensłok, Bodynek 2004; Korski 2007). Istotne znaczenie miały również badania prowadzone nad odzyskiem ciepła z zapożarowanych zwałowisk odpadów (Różański 2005).

Na szczególną uwagę zasługuje opracowana i kilkakrotnie modyfikowana w Głównym Instytucie Górnictwa „Metoda oceny i klasyfikacji zagrożenia pożarowego na terenach lokowania odpadów powęglowych” (Gogola, Bajerski i in. 2004). Metoda ta pozwala na wstępną ocenę narażenia zwałowisk kopalnianych na samozapłon i zakwalifikowanie ich na podstawie wskaźników do określonej grupy ryzyka. W Głównym Instytucie Górnictwa opracowano także metodę wykorzystywania technik termowizyjnych i informatycznych w technologiach przeciwdziałania zagrożeniom pożarowym na terenach lokowania odpadów powęglowych (Bajerski, Słowikowski 2006).

Istnieje wiele opracowań „praktycznych” na temat doboru rozwiązań technologicznych dla konkretnych przypadków likwidacji pożarów występujących na zwałowiskach odpadów powęglowych. Zostały one opracowane zarówno przez jednostki naukowo-badawcze (GIG, AGH, Politechnika Śląska), jak i przez specjalistyczne firmy projektowe (Gogola, Bajerski i in. 2003; Kuś 1997).

W publikacjach autorów zagranicznych poświęconych analizowanemu zagadnieniu zostały zawarte analogiczne obserwacje dotyczące powstawania pożarów, czy też metod ich gaszenia (Falcon 1986; Gloria, Haedicke 1985; Walker 2002).

We wszystkich tych opracowaniach jest zauważalny jednak pewien niedostatek informacji o praktycznych czynnikach i kryteriach, które decydowały o wyborze technologii postępowania w przypadkach podwyższonego stanu termicznego lub zjawisk pożarowych. Podstawę doboru kryteriów technologii prewencyjnych, profilaktycznych i gaśniczych powinien stanowić nie tylko aspekt ekonomiczny, lecz także szeroko rozumiany aspekt środowiskowy. Jednym ze szkodliwych oddziaływań tego typu obiektów na środowisko jest emisja pyłów i gazów cieplarnianych, m.in. dwutlenku węgla. Pomiary emisji tego gazu oraz sposoby jej ograniczania na zwałowiskach odpadów powęglowych są przedmiotem intensywnych badań (Łączny i in. 2008).

2. METODY PRZECIWDZIAŁANIA I ZWALCZANIA ZAGROŻEŃ POŻAROWYCH NA OBIEKTACH ZBUDOWANYCH Z ODPADÓW POWĘGLOWYCH

Metody przeciwdziałania zagrożeniom związanym z możliwością wystąpienia pożarów endogenicznych na obiektach formowanych z odpadów powęglowych można podzielić na:

- metody prewencyjne stosowane na obiektach aktualnie formowanych – związane z doborem i zastosowaniem odpowiedniej technologii formowania nasypów,
- metody profilaktyczne stosowane na uformowanych już obiektach, niewykazujących aktywności termicznej,
- metody zwalczania występującego stanu termicznego.

2.1. Metody prewencyjne

Metody zapobiegania pożarom odnoszą się najczęściej do fazy realizacyjnej obiektów (budowy). Metody prewencyjne są uwzględniane już na etapie opracowywania projektów technicznych konkretnych zwałowisk. W przypadku czynnych obiektów dotyczą one przede wszystkim sposobu bezpiecznego wbudowywania odpadów powęglowych i uwzględniają następujące aspekty:

- odpowiedni dobór uziarnienia, zapewniający wysokie zagęszczenie materiałów w nasypie,
- zmniejszenie procentowego udziału zawartości węgla w materiale odpadowym,
- dobór technologii zapewniającej wysokie zagęszczenie odpadów w nasypach,
- monitoring w fazie realizacji obiektu oraz w fazie porealizacyjnej.

2.1.1. Dobór optymalnego uziarnienia odpadów

Maksymalna szczelność nasypów jest uzyskiwana przez odpowiedni dobór i modyfikację uziarnienia odpadów powęglowych. Materiał o właściwej krzywej uziarnienia nie tylko jest dobrze zagęszczony w wykonywanych nasypach, lecz także powoduje zmniejszenie kosztów robót ziemnych i ograniczenie dostępu powietrza do wnętrza zwałowiska, co minimalizuje zagrożenie wystąpienia samonagrzania.

Z uwagi na wymagania dotyczące szczelności wykonywanej warstwy nasypów, na obiektach formowanych z odpadów powęglowych powinna być ona odpowiednio zagęszczona. Dobłą szczelność można uzyskać w wyniku:

- zastosowania materiału złożonego głównie z okruchów skał o odpowiednio zróżnicowanym uziarnieniu (najlepiej, gdy wskaźnik różnoziarnistości materiału $U = d_{60}/d_{10} > 15$, a minimalnie $U > 5$), maksymalna gęstość objętościowa szkieletu materiału ρ_s , określona według metody normalnej Proctora, powinna zawierać się w granicach 1,7–1,9 Mg/m³,
- osiągnięcia w formowanym nasypie wskaźnika zagęszczenia rzędu 0,95, przez zagęszczenie materiału warstwami z użyciem walców wibracyjnych lub innego

ciężkiego sprzętu budowlanego; grubość zagęszczanych warstw materiału powinna być nie większa niż 50 cm (zależnie od stosowanego sprzętu).

Zdolność odpadów powęglowych do zagęszczenia można określić analogicznie jak mieszanek betonowych (Osiecka 2005). Odpowiednie zagęszczenie materiału występującego w hałdzie zależy od wypełniacza i spoiwa będącego produktem degradacji mechanicznej w czasie zagęszczania oraz degradacji pod wpływem warunków atmosferycznych.

2.1.2. Zmniejszenie procentowego udziału węgla i substancji palnych w materiale

Jednym z czynników powodujących samonagrzewanie jest odpowiednio wysoka zawartość części palnych, w tym głównie substancji węglowej. Do tej pory nie ma wyników badań, określających najniższą procentową zawartość węgla, przy której endogeniczne samonagrzanie z pewnością nie wystąpi. Dlatego przyjmuje się, że każde ograniczenie zawartości substancji organicznej w materiale do budowy nasypów (nawet przy kilkuprocentowej zawartości węgla w odpadach) skutkuje zmniejszeniem ryzyka wystąpienia samonagrzewania.

Zawartość substancji palnej zazwyczaj ulega zmniejszeniu w wyniku dodawania do odpadów powęglowych materiałów ziarnowych pozbawionych części palnych. Takimi materiałami są najczęściej uboczne produkty spalania (UPS), w tym głównie popioły lotne elektrowniane. Zdecydowanie rzadziej są stosowane materiały drobnoziarniste naturalne, takie jak ły i glina. W wyniku dodawania UPS do odpadów powęglowych, oprócz zmniejszenia zawartości części palnych, uzyskuje się zazwyczaj zwiększenie izolacyjności nasypów przez dodawanie najdrobniejszych ziaren (< 0,06 mm).

Zawartość substancji palnej w odpadach powęglowych można zmniejszyć także przez wykorzystanie specjalnie opracowanych technologii i procesów w celu odzysku węgla. Sposoby postępowania z odpadami powęglowymi prowadzą w tym przypadku do odzyskania jak największej ilości frakcji o dużej zawartości węgla, np. przez płukanie z wykorzystaniem cieczy ciężkiej.

2.1.3. Roboty ziemne z wysokim zagęszczeniem odpadów

Stosowane obecnie najbardziej bezpieczne technologie wbudowywania skały płonnej, swoją skuteczność w przeciwdziałaniu samonagrzewaniu, a w konsekwencji zapobieganiu pożarom endogenicznym, uzyskują dzięki możliwościom dużego zagęszczenia materiałów w nasypie. Wysoki wskaźnik zagęszczenia jest uzyskiwany w wyniku:

- warstwowego wbudowania materiału,
- odpowiedniego ukształtowania bryły obiektu, eliminacji stromych skarp technicznie trudnych do zagęszczenia,
- unikania bezpośredniego styku skały płonnej sezonowanej i świeżej,
- unikania procesów technologicznych, powodujących segregację ziarnową materiału,
- zagęszczenia każdej rozłożonej warstwy sprzętem ciężkim,
- zastosowania domieszek – optymalizujących krzywą uziarnienia.

Materiał (odpad powęglowy) jest wbudowywany cienkimi, poziomymi warstwami. Zazwyczaj miąższość jednej warstwy nie przekracza 0,5 m. Przy metodach prewencyjnych opartych na robotach ziemnych bardzo istotny jest monitoring parametrów technologicznych, zwłaszcza zagęszczenia. Jako mierzalny parametr, obrazujący zagęszczenie materiału hałdowego, przyjmuje się wspomniany wcześniej wskaźnik zagęszczenia.

2.2. Metody profilaktyczne

Metody profilaktyczne są stosowane przeważnie na uformowanych już obiektach. Zalicza się do nich iniekcję otworową (pkt 2.3.1) oraz metodę polegającą na wykonywaniu wierzchniej warstwy rekultywacyjnej. Iniekcja otworowa jest metodą drogą i zdecydowanie częściej wykorzystuje się ją jako metodę bezpośredniego zwalczania zjawisk pożarowych, czyli metodę gaśniczą.

2.2.1. Wykonywanie wierzchniej okrywy rekultywacyjnej

Wierzchnią warstwę rekultywacyjną wykonuje się w celu doszczelnienia obiektu oraz stworzenia warunków do rozwoju wprowadzanych gatunków roślin. Grubość warstwy zależy od warunków terenowych i oscyluje w granicach od 30 do 50 cm. W niektórych przypadkach może dochodzić do 80 cm, np. podczas przygotowywania terenu pod zagospodarowanie leśne (Bajerski i in. 1999). Nasadzenia, wysiew traw i bylin można prowadzić bezpośrednio w nawiezionej warstwie. W wyjątkowo trudnych przypadkach stosuje się nasadzenia w dołkach wypełnionych bardziej urodzajnym podłożem. Nawieziony i rozplantowany materiał w postaci gliny lub glinopiachu można przykryć warstwą gleby urodzajnej (ok. 30 cm) w celu szybszego i trwalszego rozwoju roślinności trawiasto-bylinowej. W miejscach narażonych na erozję wodną i wietrzną (szczególnie skarpy zwałowisk) stosuje się palikowanie i/lub siatki umacniające. Podczas nasadzeń należy unikać gatunków drzew z szybko rozwijającym się palowym systemem korzeniowym, ze względu na rozluźnianie głębiej zlokalizowanych warstw, co w konsekwencji może doprowadzić do zapłonu odpadów powęglowych.

2.3. Metody zwalczania zagrożenia pożarowego na terenach lokowania odpadów powęglowych

Technologie likwidacji zagrożeń termicznych oraz samego gaszenia, to najczęściej zespół działań organizacyjnych i technicznych. W praktyce wszystkie sprowadzają się do wykonywania szczelnych ekranów izolacyjnych uniemożliwiających, lub w zdecydowanym stopniu utrudniających, dostęp powietrza do wnętrza nasypów, co prowadzi do spowolnienia lub zaniku reakcji utleniania substancji węglowej zawartej w odpadach powęglowych.

2.3.1. Metoda iniekcji otworowej

Metoda iniekcji otworowej jest uważana za małoinwazyjną. Powinna być stosowana przede wszystkim tam, gdzie jest istotne pozostawienie obiektu formowanego z odpadów powęglowych w stanie niezmienionym lub kiedy zachodzi konieczność ograniczenia niekorzystnego oddziaływania na środowisko prac gaśniczych. Metoda ta polega na nawiercaniu otworów w zapożarowanych rejonach, które służą w dalszej fazie prac do zatłaczania medium gaśniczego do wnętrza obiektu w celu wypełnienia pustek w strukturze nasypów, a tym samym odcięcia dopływu tlenu (Bajerski, Słowiowski 2006; Gogoła, Bajerski in. 2004).

Efekt iniekcji (skuteczność) zależy od: rozmieszczenia otworów iniekcyjnych, ich głębokości, kierunku, sposobu zatłaczania, rodzaju medium i ciśnienia iniekcji. W procesie uszczelniania rozmieszczenie odwiertów musi dawać gwarancję uzyskania wzajemnego przenikania się stref iniekcji sąsiadujących otworów. W obrębie otworów konieczne jest szczelne wypełnienie szkieletu gruntowego. Zatłaczanie powinno gwarantować laminarny przepływ medium, ponieważ eliminuje to zjawisko szczelinowania gruntu i nierównomierność wypełnienia.

Mieszanki iniekcyjne są zatłaczane przeważnie do otworów pionowych. Istnieją jednak przypadki kiedy, z uwagi na ukształtowanie zapożarowanego terenu i konieczność ingerencji w powierzchniowe obszary na skarpach, są wykonywane odwierty skośne.

Aby nie tworzyć ciągów kominowych, zatłaczanie musi odbywać się bezpośrednio po nawierceniu otworu. Rozróżnia się zatłaczanie ciśnieniowe – w przypadku kiedy medium gaśnicze jest zatłaczane z wykorzystaniem pompy iniektu oraz bezciśnieniowe, kiedy rozptył medium wewnątrz nasypu odbywa się w sposób grawitacyjny.

2.2.2. Technologia rowów ekranujących (chłonnych)

Istotą tej metody jest uszczelnianie powierzchni zapożarowanej za pomocą medium gaśniczego, które jest wlewane do uprzednio wykopanych rowów (Gogoła, Bajerski i in. 2004; Korski 2007). W trakcie wykonywania rowów dochodzi do znacznej ingerencji w nasypy hałd, w tym również w nasypy zapożarowane, metoda ta jest więc uważana za inwazyjną i jej stosowanie zawsze jest poprzedzone analizą czy ewentualne skutki środowiskowe nie będą zbyt dużą uciążliwością, zwłaszcza dla okolicznych mieszkańców.

Rowy mają charakter rowów chłonnych, tzn. że wlewane do nich medium gaśnicze przedostaje się do nasypów przyległych do wykopów. Wykonywane są na powierzchniach płaskich obiektów z uwagi na techniczne możliwości sprzętowe i mają przekrój trapezoidalny. Ich szerokość to przeważnie kilka metrów. Głębokość zależy natomiast od miąższości nasypu i wymaganej grubości wykonywanej izolacji. Z uwagi na możliwości sprzętowe nie stosuje się raczej rowów o głębokości przekraczającej 6 m. Rowy są wykonywane odcinkami (zazwyczaj do kilkudziesięciu metrów), tak aby była zachowana możliwość ich wypełnienia w stosunkowo krótkim czasie. W celu uzyskania zamierzonego efektu gaśniczego rowy muszą być wykonywane w odległości umożliwiającej wzajemne przenikanie się stref iniekcji z dwóch sąsiadujących rowów.

Rowy są wypełniane przygotowanym uprzednio medium gaśniczym niezwłocznie po ich wykopaniu. Zanim medium to ulegnie zestaleniu, często do wylanej pulpy jest

dodawany materiał o grubszej granulacji, np. odpad powęglowy, który nie wykazuje cech samonagrzania. Otrzymany ekran charakteryzuje się dużą nośnością, co umożliwia późniejsze zagospodarowanie powierzchni obiektu.

Medium gaśnicze stosowane do zalewania rowów nie różni się w sposób znaczący od medium stosowanego w metodzie z wykorzystaniem otworów iniekcyjnych. Medium powinno powodować doszczelnienie nasypów zwału przez wypełnienie pustek międzyziarnowych, obniżenie temperatury zwału, spowolnienie zachodzących reakcji egzotermicznego utleniania się pierwiastków palnych oraz wykazywać się odpowiednią propagacją, zwłaszcza w wysokich temperaturach.

2.2.3. Technologia robót ziemnych

Wszędzie tam, gdzie zachodzi konieczność zmiany konfiguracji terenu zapożarowanego lub terenu przyległego, są wykonywane prace gaśnicze (Czuber, Duchowski 1979; Falcon 1986; Gloria, Haedicke 1985; Gogola, Bajerski i in. 2004; Korski, Hensłok, Bodynek 2004) polegające m.in. na:

- urabianiu materiału aktywnego termicznie, dogaszaniu i ponownej jego zabudowie,
- pokrywaniu powierzchni zwałowiska warstwą niepalnego materiału,
- wykonaniu wysokozaęszczonego nasypu izolacyjnego wokół bryły zwałowiska, wraz z wypełnianiem mieszaniną popiołowo-wodną przestrzeni między zapożarowanym zwałowiskiem a wykonanym nasypem.

Przy selektywnym urabianiu zapożarowanych nasypów, studzeniu oraz ponownej ich zabudowie według projektu docelowego ukształtowania terenu, wykopany i wystudzony materiał hałdowy jest usuwany poza obręb obiektu i wykorzystywany do budowy różnego rodzaju nasypów inżynieryjnych. Wykopy materiału w miejscach samonagrzewania muszą być prowadzone małymi frontami. Na wykopany materiał, niejednokrotnie o temperaturze kilkuset stopni, musi być przygotowane specjalne poletko do jego gaszenia i studzenia. Wykop po wybraniu zagrzanego materiału musi być niezwłocznie wypełniony materiałem izolacyjnym (najczęściej jest to mieszanina wodna drobnoziarnistych odpadów elektrowniowych). Studzenie materiału odbywa się z wykorzystaniem pulpy popiołowej, którą przelewa się poszczególne warstwy zagrzanego wykopanego materiału. Ponowna zabudowa materiału ostudzonego odbywa się z zachowaniem zasad prewencji pożarowej, polegającej głównie na wytworzeniu nasypu o bardzo wysokim zaęszczeniu. Dodatkowo, przestrzenie międzyziarnowe są wypełniane materiałami drobnoziarnistymi (popiołami lotnymi, gliną, glinopiaskiem, drobnoziarnistymi odpadami powęglowymi zawierającymi znaczną ilość składników ilastych).

Szczególnym przypadkiem zastosowania tej technologii jest bezpośrednia obudowa szczelnym nasypem miejsc aktywnych termicznie, np. na składowisku przy szybie „Skalny” kopalni „Bolesław Śmiały” (Korski, Hensłok, Bodynek 2004). W tym przypadku strome zapożarowane skarpy składowiska zostały obudowane szczelnym wysokozaęszczonym nasypem przeciwdziałającym migracji tlenu atmosferycznego. Dodatkowo, na styku nowo budowanego nasypu izolacyjnego i skarpy zapożarowanej wykonano fosę wypełnioną pulpą popiołową.

Podobne prace wykonano w przypadku rekultywacji i gaszenia zwałowiska odpadów górniczych w Ibbenbüren (Gloria, Haedicke 1985). Zapożarowane obszary zostały obudowane nowymi pryzmami odpadów bardzo dobrze zagęszczonych, co spowodowało ustanie aktywności termicznej.

2.3.4. Zastosowanie ciekłego CO₂

Wykorzystywanie do gaszenia pożarów ciekłego dwutlenku węgla na zwałowiskach odpadów powęglowych zostało opisane w dokumentacjach przebiegu działań gaśniczych prowadzonych na hałdzie „Waleska” w Łaziskach Górnych (Buchwald, Korski 2006). Technologia ta jest od dawna wykorzystywana w kopalniach węgla kamiennego w celach prewencji pożarowej i w akcjach ratowniczych.

Oprócz docelowego wychładzania składowanego materiału, działanie dwutlenku węgla ma charakter duszący, na skutek wypierania tlenu z powietrza atmosferycznego (gdzie występuje on w niewielkich ilościach – 0,03–1%).

Metoda zastosowana na zwałowisku „Waleska” polegała na wykonaniu serii otworów w bryle obiektu, a następnie wlewaniu w nie ciekłego CO₂. Wskutek spadku ciśnienia następowało zestalenie gazu oraz jego powolna sublimacja z równoczesnym pobieraniem ciepła od ścian otworu. Jednocześnie była obniżana zawartość tlenu w masywie zwałowiska (ciężar właściwy gazowego CO₂ jest większy od ciężaru powietrza atmosferycznego), a tym samym zostały spowolnione procesy utleniania się substancji palnych. Na półce hałdy oraz w zboczach w jej bezpośrednim sąsiedztwie wykonano kilkanaście otworów o średnicy 125 mm i głębokości 6–8 m. Na wlocie otworów osadzono i zacementowano odcinki rur obsadowych. Do tak wykonanych otworów wlewano ciekły CO₂. Jednorazowo niektóre otwory przyjmowały do 120 dm³ ciekłego gazu (do najbardziej chłonnych otworów ciekły CO₂ podawano kilkakrotnie). Po zakończeniu podawania ciekłego CO₂ otwory likwidowano przez wypełnienie mieszaniną popiołowo-wodną.

Wykorzystana metoda okazała się niezwykle skuteczna – zapożarowane strefy wychłodzono o 50–60°C oraz wytworzono praktycznie beztlenową atmosferę w masywie zwałowiska.

2.2.5. Stosowanie antypirogenów

Istnieją różne teorie na temat działania antypirogenów, czyli środków hamujących palność węgla. Według jednej z nich działanie antypirogeny polega na zmniejszeniu powierzchni reakcji węgla z tlenem z powietrza. Mechanizm działania antypirogenów jest złożony i nie został jeszcze w pełni wyjaśniony. Sprzeczne są również stanowiska dotyczące badanych substancji określanymi przez autorów różnych prac jako inhibitory lub katalizatory procesu spalania.

Antypirogeny na zwałowiskach na dużą skalę były stosowane w byłym ZSRR, między innymi w postaci mleka wapiennego (Zborszczik i in. 1985). W Polsce badania nad stosowaniem antypirogenów były prowadzone w Głównym Instytucie Górniczo-Hutniczym i Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, gdzie m.in. opracowano skuteczne antypirogeny zawierające kwas szczawiowy i szczawiany.

Badania prowadzone w latach 80. ubiegłego wieku doprowadziły do wytypowania skutecznie działających antypirogenów, takich jak: poliakryloamid, ługi posulfidowe, kwas szczawiowy, niektóre szczawiany, chlorek sodowy lub solanka naturalna, chlorek wapniowy czy też chlorek magnezowy.

Antypirogeny proszkowe mogą być stosowane do gaszenia pożarów różnej wielkości, poczynając od pożarów w zarodku do pożarów o powierzchni kilkuset metrów kwadratowych. Dzięki zdolności do gaszenia, substancje te mogą być stosowane w małych dawkach w stosunku do wielkości palącej się powierzchni.

Stosowanie antypirogenów wydaje się szczególnie korzystne w przypadkach, w których wykorzystanie innych skutecznych metod profilaktyki pożarowej jest niemożliwe lub nieopłacalne. Do tej pory nie opublikowano znaczących prac, dotyczących zastosowania antypirogenów w profilaktyce pożarowej lub do bezpośredniego gaszenia zapożarowanych zwałowisk.

2.2.6. Kontrolowane przepalanie zwałowiska

Znane są metody kontrolowanego przepalania (lub dopalania) aktywnych termicznie zwałowisk odpadów powęglowych, które polegają na:

- obudowywaniu zwałowiska sarkofagiem z materiałów niepalnych, a następnie wypełnianiu przestrzeni między sarkofagiem a bryłą zwałowiska gruboziarnistym materiałem niepalnym,
- kontrolowanym dopalaniu z odsysaniem i oczyszczaniem spalin,
- dopalaniu bryły zwałowiska lub jego części z wykorzystaniem ekranu z odpadów gruboziarnistych i drobnoziarnistych.

W praktyce drugą z wymienionych metod próbowano wdrożyć do likwidacji ognisk pożarowych na zwałowisku „Skalny” w Łaziskach Górnych, gdzie zastosowano szwedzką koncepcję „dopalenia” zwałowiska, przez kontrolowane doprowadzenie powietrza do jego wnętrza, a następnie odsysanie i oczyszczanie spalin (Buchwład, Korski 2011; Korski, Henslok, Bodynek 2004).

Idea metody nie budzi zastrzeżeń, mimo że do tej pory sama metoda nie została zastosowana. W przypadku omawianego zwałowiska przyczyną odstąpienia od realizacji była najprawdopodobniej wielkość zapożarowania hałdy.

W technologii obudowywania zwałowiska sarkofagiem, z jednoczesnym wypełnianiem materiałem niepalnym przestrzeni między nim a zapożarowanym zwałowiskiem, poważne zastrzeżenia budzi niewielka możliwość kontroli procesów zachodzących w bryle zwałowiska oraz emisji gazów do atmosfery.

Trzecią z wymienionych metod, będącą przedmiotem wynalazku, zastosowano na zwałowisku „Wrzosa” w Pszowie. Stożek zwałowiska został podzielony na dwie części – część nagrzaną, zapożarowaną i część „zimną” budowaną z odpadów z bieżącej produkcji. Obie części zostały rozdzielone ekranem zabezpieczającym, który jednocześnie miał poprawiać warunki przepływu powietrza przez część zapożarowaną. Przepalenie zwału tą metodą wiąże się z wysoką emisją gazów.

3. OCENA STOSOWANYCH TECHNOLOGII

W celu uzyskania najlepszej skuteczności działań gaśniczych stosuje się zazwyczaj jednocześnie kilka technologii dostosowanych zarówno do warunków termicznych panujących na hałdzie, jak również do jej morfologii. Podstawą rozpoczęcia prac w konkretnym rejonie obiektu jest rozpoznanie aktualnego stanu termiki zwału. Informacje te są bardzo istotne nie tylko z uwagi na skuteczność zabiegów gaśniczych, lecz także ze względu na bezpieczeństwo pracy ludzi i sprzętu. W przyjętych rozwiązaniach technicznych powinna być uwzględniona możliwość późniejszego wykonania skutecznych zabiegów rekultywacyjnych na obiekcie. Prowadzone prace gaśnicze i prewencyjne powinny również minimalnie oddziaływać na otoczenie.

Stosowanie opisanych technologii bardzo często wiąże się ze znacznym obciążeniem środowiska. Uciążliwość zabiegów prewencyjnych i gaśniczych polega przede wszystkim na emisji gazów, pyłów i hałasu.

Najczęściej stosowane technologie prewencyjne, profilaktyczne i gaśnicze stosowane na zapożarowanych obiektach zbudowanych z odpadów powęglowych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Technologie/metody prewencyjne, profilaktyczne i gaśnicze stosowane na zwałowiskach odpadów powęglowych

| Sposoby postępowania/technologie | Skrócony opis technologii | Stosowany sprzęt | Czynnik gaśniczy/medium gaśnicze | Zalety/wady | Przykłady zastosowania |
|--|---|---|---|---|---|
| Metody prewencyjne | | | | | |
| Dobór optymalnego uziarnienia odpadów | Przygotowanie i modyfikacja uziarnienia lokowanych materiałów w sposób umożliwiający ich maksymalne zagęszczenie i doszczelnienie zwałowiska | Mieszalniki, sita, sprzęt ciężki | Zagęszczony materiał przez dobór optymalnego uziarnienia | Metoda małoinwazyjna, niska lub średnia emisja zanieczyszczeń, obniżenie kosztów lokowania | Obiekt „Pochwacie” KWK Zofiówka |
| Zmniejszanie procentowego udziału węgla i substancji palnych w materiale | Przygotowanie i modyfikacja lokowanych materiałów przez zmniejszenie udziału części palnych, np. przez dodawanie UPS | Sprzęt ciężki: spychacze, walce wibracyjne, mieszalniki | Zagęszczony materiał ze zmniejszoną zawartością węgla przez zastosowanie dodatków | Metoda małoinwazyjna, niska lub średnia emisja zanieczyszczeń, możliwość zagospodarowania innych odpadów | Obiekt „Panewniki” KWK Halemba |
| Roboty ziemne z wysokim zagęszczeniem odpadów | Kompleksowe prace budowlane z wysokim zagęszczeniem materiału | Sprzęt ciężki: spychacze, walce wibracyjne | Zagęszczony i odpowiednio wbudowany materiał | Metoda inwazyjna, często wysoka emisja zanieczyszczeń, koszty najbardziej optymalne | Zwałowisko „Skalny” i „Waleska” w Łaziskach Górnych |
| Metody profilaktyczne | | | | | |
| Iniekcja otworowa | Do nawierconych otworów (w zapożarowanym rejonie) jest zatłaczane medium gaśnicze, które wypełnia pustki w nasypach i powoduje odcięcie dopływu tlenu | Wiertnica, urządzenie do wytwarzania medium, mieszalnik medium (pulpy), pompa środka iniekcyjnego, sprzęt do transportu i dojazdu do miejsc zatłaczania | Pulpa sporządzona z wody i materiału drobnoziarnistego (popiołów z kotłów konwencjonalnych, fluidalnych, produktów odsiarczania spalin, innych) | Metoda małoinwazyjna, mała ingerencja w bryłę obiektu, bardzo niska emisja zanieczyszczeń pyłowych do atmosfery, wysokie koszty | Zwałowisko „Skalny” i „Waleska” w Łaziskach Górnych, Hałda 6/4 na polu „Piaś” w Nowej Rudzie, Hałda „Ruda” w Zabrze, Hałda 7/4 na polu „Słupiec” w Nowej Rudzie |
| Wykonanie wierzchniej okrywy rekultywacyjnej | Na odpadach powęglowych rozkłada się warstwę materiału inertnego (gliny lub glinopachu) i wprowadza roślinność | Sprzęt ciężki | Warstwa materiału inertnego wraz z pokrywą roślinną doszczelniającą i stabilizującą obiekt | Metoda małoinwazyjna, ogranicza pylenie, obiekt przywrócony do obiegu przyrodniczego | Zwałowisko „Skalny” i „Waleska” w Łaziskach, zwałowisko „Wysoki Brzeg” w Jaworznie, zwałowisko KWK Klimontów w Sosnowcu, wiele innych zrehabilitowanych zwałowisk |

| Metody gaśnicze | | | | | |
|--|---|--|---|--|--|
| Iniekcja otworowa | jw. | jw. | jw. | jw. | jw. |
| Rowy ekranujące (chlonne) | Wykopane rowy, przeważnie o przekroju trapezu zalewa się zastygającym medium gaśniczym, które oddziela zapożarowane rejonu i powoduje odcięcie dopływu tlenu | Sprzęt ciężki: koparki, spychacze, urządzenie do wytwarzania i transportu medium (pulpy), mieszalnik medium | Pulpa sporządzona z wody i materiału drobnociarnistego (popiołów z kotłów konwencjonalnych, fluidalnych, produktów odsiarczania spalin, innych) | Metoda inwazyjna, dochodzi do znaczącej ingerencji w bryłę obiektu, wysoka uciążliwość środowiskowa (emisja pyłów), wysokie koszty | Zwałowisko „Skalny” i „Waleska” w Łaziskach, Zwałowisko KWK Marcel w Radlinie, Hałda 7/4 na polu „Stupiec” w Nowej Rudzie, Zwałowisko KWK Rydułtowy w Rydułtowach |
| Roboty ziemne: - urabianie materiału (rozbiórka zwałowiska), - pokrywanie materiałem niepalnym, - wykonanie wysoko zagęszczonych nasypów izolacyjnych | Zmiana konfiguracji terenu zapożarowanego lub terenu sąsiedniego za pomocą ciężkiego sprzętu budowlanego, obudowa aktywnych termicznie nasypów | Sprzęt ciężki: koparki, spychacze, walce wibracyjne, maszyny do rozprowadzenia i transportu mieszanin gaśniczych | Mieszanki popiołowo-wodne, materiały niepalne (głina, ziemia), wysoko zagęszczone odpady powęglowe | Metoda często najbardziej inwazyjna spośród stosowanych, znaczne oddziaływanie na środowisko, wysokie koszty, które mogą być częściowo zrekompensowane np. przez produkcję kruszywa lub odzysk węgla | Hałda KWK Makoszowy w Zabrze, Zwałowisko „Skalny” i „Waleska” w Łaziskach Górnych, zwałowisko KWK Marcel, hałda kopalni Ibbunbüren (Niemcy), hałdy zlokalizowane w południowej Afryce i inne |
| Stosowanie antypirogenów | Pałący się zwal zostaje pokryty antypirogenem, który odcina dostęp tlenu | Sprzęt do rozprowadzania i nanoszenia antypirogenów na zwałowisko | Pianobeton, fosforan amonu, mocznik, kwaśny węglan wapnia, boraks, chlorek wapnia | Stosowane metody miały często charakter doraźny, zastosowanie nowych antypirogenów w warunkach zapożarowanych zwałowisk wymaga nowych badań | Mleko wapienne stosowane często na palących się zwałowiskach do lat 80. |
| Przepalanie części zwałowiska | Dopalenie bryły zwałowiska lub jego części z wykorzystaniem ekranu z odpadów grubociarnistych i drobnociarnistych | Sprzęt ciężki: koparki, spychacze, sprzęt transportowy | Materiał grubociarnisty i drobnociarnisty materiał niepalny | Metoda inwazyjna, stosunkowo tania w zastosowaniu, w trakcie dopalania zwalu dochodzi do wysokiej emisji | Zwałowisko „Wrzoso” w Pszowie, zwałowisko Rydułtowy |
| Stosowanie gazów obojętnych | Do nawierconych otworów (w zapożarowanym rejonie) jest zatłaczany ciekły dwutlenek węgla lub azot. Gazy te odbierają ciepło i przede wszystkim zmniejszają zawartość tlenu w zwale – zanik zjawisk pożarowych | Sprzęt wiertniczy, maszyny do transportu oraz iniekcji ciekłego CO ₂ lub azotu | Ciekły dwutlenek węgla, ciekły azot | Metoda bardzo kosztowna, bezinwazyjna, brak szkodliwego oddziaływania na środowisko. Została zastosowana eksperymentalnie | Składowisko „Waleska” w Łaziskach Górnych |
| Kontrolowane przepalanie zwałowiska | Doprowadzanie powietrza do zwałowiska, a następnie odsysanie i oczyszczanie spalin | Metoda wiąże się z wybudowaniem skomplikowanej instalacji doprowadzającej powietrze i odprowadzającej spalinę | - | Metoda eksperymentalna, bardzo wysokie koszty, nawet w przypadku odzysku energii, aspekt środowiskowy należy rozpatrywać z uwagi na bardzo wysoką emisję gazów do atmosfery | Metodę kontrolowanego przepalania próbowano wykorzystać na zwałowisku „Skalny” w Łaziskach Górnych. Eksperymentalnego przepalania zwałowisk dokonywano w byłym ZSRR, co było bardzo dużym obciążeniem dla środowiska |

4. PARAMETRY WYBORU METODY

Celem nadrzędnym podjętych działań prewencyjnych, profilaktycznych lub gaśniczych powinno być skuteczne zabezpieczenie lub gaszenie zapożarowanego zwałowiska, bez szkody dla środowiska, nadmiernej uciążliwości dla otoczenia, z zachowaniem rozsądnych kosztów i technicznych możliwości wykonawcy prac. Wybór takich działań zależy od uwarunkowań, specyficznych dla konkretnego obiektu, które można zdefiniować jako czynniki zewnętrzne i wewnętrzne. Do wewnętrznych można zaliczyć: intensywność zjawisk termicznych, powierzchnię obiektu objętą aktywno-

cią termiczną oraz warunki terenowe. Do czynników zewnętrznych należą: dostępność materiałów do robót prewencyjnych, profilaktycznych i gaśniczych oraz odległość od najbliższej zabudowy mieszkalnej.

Istotą zagadnienia jest zatem znalezienie zależności między występującymi czynnikami (uwarunkowaniami) zewnętrznymi i wewnętrznymi a zastosowanymi technologiami oraz potwierdzenie lub też zaprzeczenie występowania konkretnych parametrów sterujących wyborem określonej technologii.

Funkcjonujące w ostatnich latach mechanizmy sterujące wyborem technologii i dane dotyczące warunków i zastosowanych metod zebrano w tabeli 2.

Tabela 2. Czynniki zewnętrzne i wewnętrzne w aspekcie zastosowanych technologii

| Obiekt /zwałowisko | Intensywność zjawisk termicznych | Powierzchnia obiektu objęta aktywnością termiczną | Warunki terenowe | Dostępność materiałów do robót prewencyjnych, profilaktycznych, gaśniczych | Odległość od najbliższej zabudowy | Zastosowane metody prewencyjne, profilaktyczne, gaśnicze |
|--------------------|--|---|--|---|-----------------------------------|--|
| „Skalny” | bardzo intensywne – temperatura wnętrza do 900°C | duża – kilka hektarów | trudne: strome skarpy o nachyleniu 1:2 wąskie półki | popioły lotne i wapno dekarbonizacyjne z pobliskiej elektrowni, woda technologiczna dostępna na terenie obiektu | < 100 | iniekcyjne, rowy chłonne częściowa rozbiórka |
| „Waleska” | średnia – temperatura wnętrza do 300°C | średnia – jedno ognisko < 1 ha, kilka ognisk do 150 m ² | trudne: strome skarpy o nachyleniu 1:2 wąskie półki | popioły lotne i wapno dekarbonizacyjne z pobliskiej elektrowni, woda technologiczna dostępna na terenie obiektu | 200–300 | iniekcyjne, rowy chłonne, zatłaczanie ciekłego CO ₂ |
| „Wrzosa” | średnia – temperatura wnętrza do 300°C | duża – mocno zapożarowana środkowa część hałdy – kilka hektarów | trudne: strome skarpy o nachyleniu 1:1, brak półek technologicznych | brak w bezpośredniej bliskości UPS, brak wody na obiekcie | 100–200 | rowy odcinające |
| „1/R” | średnia – temperatura wnętrza do 390°C | duża – termika na znacznym obszarze skarp i wierzchowiny – kilka hektarów | łatwe: łagodne skarpy, duża wierzchowina | UPS i woda dowożone cysternami | < 100 | iniekcyjne rowy chłonne częściowa rozbiórka |
| „Ruda” | bardzo intensywne – temperatura do 600°C | duża – zapożarowana większość powierzchni wierzchowiny i skarp – kilkanaście hektarów | łatwe: duża wierzchowina, niskie skarpy jedynie od zachodu bardzo trudne urwisko | UPS dowożone cysternami, wodna technologiczna z rzeki u podnóża hałdy | 200–300 | iniekcyjne izolacja powierzchniowa, obudowa szczelnym nasypem |

Miejsca najbardziej zapożarowane oraz o średniej aktywności termicznej były likwidowane metodami iniekcyjnymi, metodą rowów chłonnych, częściowej rozbiórki nasypów, izolacji powierzchniowej oraz metodą obudowy szczelnym nasypem z fosą rozdzielającą. Stosowano także nowsze sposoby likwidacji aktywności termicznej, jak schładzanie ciekłym azotem czy rowy odcinające. Te dwie ostatnie metody należy raczej traktować w kategorii eksperymentów (były stosowane na jednym zwałowisku). Na zdecydowanej większości obiektów z miejscami wykazującymi aktywność termiczną stosowano kilka metod jej likwidacji.

Miejsca o niskiej aktywności termicznej w przeszłości były likwidowane prostymi metodami, na przykład przez zawalcowanie powierzchni hałdy walcem wibracyjnym w celu doszczelnienia (hałda kopalni „Ziemowit”). Nie było to jednak regułą, ponieważ miejsca o niskiej aktywności termicznej, np. na składowiskach „Waleska” lub „Skalny” były także likwidowane na drodze iniekcji lub z zastosowaniem rowów chłonnych. Powierzchnia miejsc wykazujących aktywność termiczną średnio wahała

się od kilku do kilkunastu hektarów. Występowały także punktowe zjawiska termiczne o bardzo lokalnym charakterze. Na powierzchniach kilku- lub kilkunastohektarowych stosowano zazwyczaj skojarzone technologie, głównie iniekcyjne i metodę rowów chłonnych. Nie zaobserwowano różnic w doborze technologii na obiektach w zależności od ich powierzchni.

Wszystkie obiekty, na których prowadzono prace, były położone w pobliżu zabudowy mieszkalnej. Odległość od najbliższych położonych budynków nie przekraczała niejednokrotnie 100 m. Mimo to, na obiektach tych stosowano metody bardziej inwazyjne, w większym stopniu oddziałujące na środowisko (rowy chłonne, rozbiórkę nagrzanego nasypu). Jednocześnie najmniej inwazyjne metody iniekcyjne były stosowane na obiektach bardziej oddalonych od zabudowy mieszkalnej (hałda „Ruda” w Zabrze lub „Waleska” w Łaziskach).

Warunki terenowe na analizowanych obiektach można określić jako średnie lub trudne. Prawie zawsze zachodziła konieczność wykonywania prac na stromych zboczach o nachyleniu 1:2, a nawet miejscami 1:1. Wymagało to zastosowania odpowiedniego sprzętu. Dużym utrudnieniem był także fakt, że prace były wykonywane przy podwyższonej temperaturze nasypu (niekiedy przy otwartym ogniu). Na stromych zboczach, np. obiektu „Skalny” lub „Waleska”, stosowano zarówno metody rowów chłonnych, jak i iniekcyjne.

Generalnie, materiały do likwidacji aktywności termicznej były dostępne. W większości dowożono je cysternami z pobliskich elektrowni. Woda technologiczna była w większości przypadków dostępna ze źródeł naturalnych (rzek) lub sztucznych (rurociągów kopalnianych). Dostępność materiałów do sporządzania mieszanin dla określonych technologii nie determinowała wyboru którejkolwiek z nich.

Na podstawie powyższych spostrzeżeń stwierdzono, że opisane czynniki nie były w omawianych przypadkach parametrami sterującymi wyborem określonego typu technologii gaśniczej, prewencyjnej lub profilaktycznej. Zastosowanie poszczególnych technologii było uwarunkowane następującymi czynnikami:

- w przypadku rowów chłonnych: dostępnością ciężkiego sprzętu umożliwiającego prowadzenie prac oraz dostępnością materiałów do sporządzania medium,
- w przypadku metod iniekcyjnych: koniecznością wykonywania głębokich ekranów izolacyjnych do spągu składowiska oraz ochroną wierzchniej warstwy rekultywacyjnej z występującą tam roślinnością,
- w przypadku rozbiórki nasypu: możliwością ekonomicznego zbilansowania kosztów przez wyeksploatowanie i sprzedaż łupkoporytu oraz pozyskaniem nowych objętości do lokowania odpadów powęglowych z bieżącej produkcji,
- w przypadku wykonania nasypu izolacyjnego: koniecznością przekonfigurowania bryły obiektu, np. ze względów bezpieczeństwa lub przygotowania pod konkretne zagospodarowanie.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Wszędzie, gdzie znajdują się obiekty z odpadów powęglowych lub są wykonywane nowe, występuje niebezpieczeństwo pożarowe. Podwyższony stan termiczny zwałowisk i pożary występują we wszystkich zagłębiach węglowych Polski i Europy.

Należy zauważyć, że sposoby postępowania z zapożarowanymi obiektami w Polsce i na świecie są bardzo podobne.

Metody zwalczania zjawisk pożarowych nie są ograniczane wyłącznie do bezpośredniego gaszenia. Stosowane są również metody prewencyjne i profilaktyczne. Do metod prewencyjnych zalicza się:

- dobór uziarnienia składowanych odpadów powęglowych, polegający na jego modyfikacji w sposób umożliwiający uzyskanie maksymalnej szczelności wybudowanego materiału i ograniczenie dostępu powietrza,
- zmniejszenie procentowego udziału węgla i substancji palnych w składowanym materiale, polegające na modyfikacji materiału przez dodatki (np. UPS) lub procesy odzysku węgla, jak np. płukanie z wykorzystaniem cieczy ciężkiej,
- roboty ziemne z wysokim zagęszczeniem odpadów, polegające na uzyskaniu w formowanym nasypie wskaźnika zagęszczenia $\approx 0,95$.

Do metod profilaktycznych można zaliczyć:

- iniekcję otworową, polegającą na zatłaczaniu medium gaśniczego do wnętrza nasypu i odcięciu dopływu tlenu,
- wykonywanie wierzchniej okrywy rekultywacyjnej, polegające na przykryciu odpadów warstwą uszczelniającą gruntu inertnego, która jest jednocześnie podłożem dla rozwoju roślin.

Do metod gaśniczych, czyli bezpośrednich sposobów likwidacji zjawisk pożarowych, zalicza się:

- iniekcję otworową,
- wykonywanie rowów ekranujących, polegające na wypełnieniu wykopanych rowów medium gaśniczym lub odcinającym dostęp powietrza,
- roboty ziemne, polegające na połączeniu działań typu: urabianie i rozbiórka zwałowiska, pokrywanie materiałem niepalnym, wykonanie wysoko zagęszczonych nasypów,
- stosowanie gazów obojętnych, polegające na zatłaczaniu do nawierconych otworów gazów obojętnych odbierających ciepło i obniżających zawartość tlenu,
- stosowanie antypirogenów, polegające przeważnie na pokrywaniu zwału substancją wiążącą lub odcinającą dostęp tlenu,
- przepalanie zwałowiska lub jego części, polegające na kontrolowanym dopalaniu odpadów w strefach pożaru z wykorzystaniem ekranów izolujących lub doprowadzaniem powietrza.

Podstawę wyboru metody stanowią zwykle uwarunkowania, specyficzne dla konkretnego obiektu uformowanego z odpadów powęglowych (zdefiniowane jako czynniki zewnętrzne i wewnętrzne).

Przeanalizowane i przedstawione w artykule przypadki zastosowania poszczególnych metod wykazały, że parametrami sterującymi wyborem technologii były:

- w przypadku rowów chłonnych: dostępność ciężkiego sprzętu i materiałów do sporządzenia medium,
- w przypadku metod iniekcyjnych: konieczność wykonania głębokich ekranów izolacyjnych do spągu składowiska oraz ochrona wierzchniej warstwy rekultywacyjnej z występującą tam roślinnością,
- w przypadku rozbiórki nasypu: możliwość ekonomicznego zbilansowania kosztów przez wyeksploatowanie i sprzedaż łupkoporytu oraz pozyskanie nowych objętości do lokowania odpadów powęglowych z bieżącej produkcji,
- w przypadku wykonania nasypu izolacyjnego: konieczność przekonfigurowania bryły obiektu ze względów bezpieczeństwa lub przygotowanie pod konkretne zagospodarowanie.

Zastosowanie opisanych metod prewencyjnych, profilaktycznych i gaśniczych powinno zawsze być oparte na dokładnym monitoringu termicznym zarówno w fazie formowania obiektu, jak i w fazie powykonawczej, a dobór metody powinien być dostosowywany indywidualnie dla każdego przypadku.

Literatura

1. Bajerski A. i inni (1999): Projekt rekultywacji zwałowiska odpadów „Wysoki Brzeg” w Jaworznie. Główny Instytut Górnictwa w Katowicach, 1999 r. dla NSW SA.
2. Bajerski A., Słowikowski D. (2006): Wykorzystanie technik termowizyjnych i informatycznych w technologiach przeciwdziałania zagrożeniom pożarowym na terenach lokowania odpadów powęglowych z wykorzystaniem ubocznych produktów spalania. Praca statutowa Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice.
3. Buchwald P., Korski J. (2011): Zastosowanie ciekłego CO₂ do profilaktyki i zwalczania ognisk pożarowych składowisk odpadów pogórnicznych. Szkoła Aerologii Górniczej 1999–2011, Kraków.
4. Czuber W., Duchowski S. (1979): Gaszenie palących się zwałów górnictwa węglowego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo z. 96.
5. Falcon R.M. (1986): Spontaneous combustions of the organic matter in discards from the Witbank coalfield. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy Vol. 86, No. 007.
6. Gloria H.G., Haedicke M. (1985): Bergewirtschaft und haldenbegruenung beim steinkohlenbergwerk Ibbenbüren. Glückauf B. 121, Nr 21.
7. Gogola K., Bajerski A. i inni (2003): Technologia likwidacji zjawisk termicznych na południowej skarpie składowiska odpadów powęglowych „Waleska” KWK Bolesław Śmiały. Dokumentacja Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice.
8. Gogola K., Bajerski A. i inni (2004): Opracowanie zmodyfikowanej metody oceny i klasyfikacji zagrożenia pożarowego na terenach lokowania odpadów powęglowych. Praca statutowa Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice.
9. Korski J. (2007): Rowy chłonne w zwalczaniu pożarów i w profilaktyce pożarowej składowisk odpadów górnicznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo z. 276.

10. 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”.
11. Kuś R. (1997): Izolowanie ognisk pożarowych w obrębie hałdy „Matylda” – Wałbrzych. Bezpieczeństwo Pracy w Górnictwie nr 4.
12. Łączny J.M. i inni (2008): System zarządzania likwidacją emisji CO₂ ze zwałowisk odpadów powęglowych „COOL’s”. Nr projektu UDA-POIG. 01.03.01-24-029/08-00. Katowice, Główny Instytut Górnictwa, Gliwice, Politechnika Śląska.
13. Osiecka E. (2005): Materiały budowlane, spoiwa mineralne, kruszywa. Warszawa, Oficyna Wydaw. Politechniki Warszawskiej.
14. Różański Z. (2005): Badania doświadczalne i modelowe nad pozyskiwaniem energii cieplnej z aktywnego termicznie zwałowiska odpadów powęglowych. 10. Sesja Międzynarodowego Biura Termofizyki Górniczej. Gliwice, Politechnika Śląska, s. 585–596.
15. Walker S. (2002): Fighting China’s fires. World Coal Vol. 11, No. 8.
16. Zborszczik M. i inni (1985): Zastosowanie nowych sposobów gaszenia hałdy skały płonnej zadaniem niezbędnym. Ugol Ukrainy nr 11.

Recenzent: dr Leszek Drobek