

Jan Drenda, Zenon Róžański*, Krzysztof Słota*, Paweł Wrona**

ZAGROŻENIE POŻAROWE NA ZWAŁOWISKACH ODPADÓW POWĘGLOWYCH

1. Wprowadzenie

Odpady pochodzące z górnictwa węgla kamiennego mają obecnie szerokie zastosowanie. Zagospodarowuje się je wykorzystując m.in. do podsadzania wyrobisk, niwelacji terenu, robót inżynierskich — budowy dróg, nasypów i obwałowań oraz w budownictwie. Tylko niewielka część tego materiału trafia na zwałowiska, nazywane na terenie Górnego Śląska popularnie hałdami. Jednak nie było tak zawsze. W przeszłości zdecydowanie przeważająca część powstających odpadów powęglowych lokowana była właśnie na zwałowiskach, stąd obecnie w obszarze aglomeracji górnośląskiej zlokalizowanych jest ok. 136 składowisk odpadów powęglowych, na których zgromadzonych jest ogółem ponad 750 mln Mg materiału odpadowego. Zajmują one łącznie powierzchnię ok. 3500 ha [8].

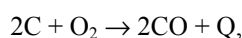
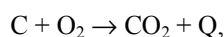
Na obiektach tych zgromadzone są odpady skalne powstające głównie w trakcie udostępniania pokładów węgla, jego eksploatacji i procesów jego wzbogacania. W masie odpadów znajdujących się na zwałowisku występuje znaczna zawartość składników palnych, przede wszystkim węgla i pirytu. Zawartości głównych składników palnych w odpadach kopalnianych mogą dochodzić nawet do 30% substancji węglowej oraz do 8% pirytu [9, 10]. Są to składniki, które w kontakcie z tlenem ulegają naturalnemu procesowi utleniania, czemu towarzyszy wydzielanie się ciepła, a to z kolei prowadzi w sprzyjających warunkach do samozagrzewania, a następnie samozapalenia odpadów powęglowych. Pożary powstające w ten sposób nazywamy pożarami endogenicznymi. Ich powstanie warunkowane jest czynnikami wewnętrznymi związanymi z właściwościami materiału odpadowego, dostępem tlenu do wnętrza hałdy i istnieniem warunków uniemożliwiających odprowadzanie powstającego ciepła. Do zapłonu materiału odpadowego może również dojść na skutek działania zewnętrznych źródeł ciepła (np. rozpalane ogniska, wypalanie traw).

* Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska, Gliwice

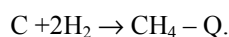
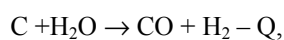
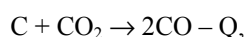
Niezależnie od przyczyn wywołujących pożar zapożarowane zwałowiska stwarzają zagrożenie dla osób przebywających w ich obszarze. Ze względu na często wysoką temperaturę zwałowanego materiału (dochodzącą czasami do 800°C i więcej) istnieje możliwość poparzenia osób poruszających się w obrębie stref aktywności termicznej. Palące się zwałowiska stanowią także źródło emisji substancji do atmosfery, co nie pozostaje bez znaczenia dla najbliższego otoczenia tych obiektów.

2. Wpływ pożarów na atmosferę w otoczeniu zwałowisk

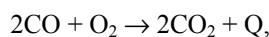
Przyrost temperatury składowanego na zwałowiskach materiału odpadowego powodowany jest licznymi reakcjami chemicznymi o charakterze egzotermicznym. Związane one są przede wszystkim z procesem utleniania węgla i innych substancji (np. pirytu) zawartych w odpadach. Podobnie jak w przypadku samozagrzewania węgla, wyróżnić można trzy fazy wpływające na zmianę temperatury materiału: niskotemperaturowe utlenianie, intensywne utlenianie oraz palenie się [3]. Na powierzchni ziaren węgla zawartego w odpadach w obecności powietrza i wilgoci zachodzą następujące reakcje, w czasie których wydzielają się znaczne ilości ciepła [7]:

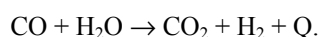
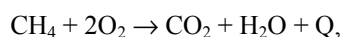
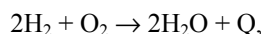


Produktami tych reakcji jako wynik pełnego i niepełnego utleniania węgla są odpowiednio ditlenek węgla i tlenek węgla, a także wodór. Oprócz tego mają miejsce również takie reakcje:

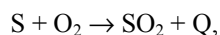
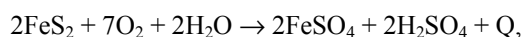


W reakcjach tych ciepło jest pobierane, jednak powstające w czasie tych i we wcześniej wymienionych reakcji produkty niepełnego spalania, w warunkach ponownej dyfuzji, dalej oddziaływują z utleniaczem. W związku z tym w pobliżu powierzchni ziaren węgla oraz w przepuszczalnych szczelinach zachodzą kolejne reakcje egzotermiczne:





Materiał odpadowy pochodzący z górnictwa węgla kamiennego zawiera w swoim składzie również piryt i inne związki siarki w strefie samozagrzewania i palenia się, dlatego należy spodziewać się reakcji utleniania pirytu oraz utleniania siarki i siarkowodoru według wzorów:



Intensywność wymienionych reakcji przede wszystkim zależy jest głównie od zawartości węgla i pirytu w odpadach, ale także od zawartości tlenu w atmosferze wewnątrz zwałowiska. Stężenie tlenu w wyniku opisanych procesów zachodzących w strefie aktywności termicznej może zmniejszyć się z 20% do 0,1÷2,5%. Wzrost temperatury i zmiana składu atmosfery w strefie aktywności powoduje jednak powstanie depresji cieplnej, dzięki której zachodzi zjawisko wymiany powietrza we wnętrzu zwałowiska. Wahań ciśnienia barycznego intensyfikują proces napowietrzania bryły zwałowiska oraz wydzielania gazów pożarowych do atmosfery. Produkty przedstawionych reakcji wydzielane są do otoczenia, a ich koncentracja zwłaszcza w trakcie trwania intensywnych pożarów może w rejonie składowiska przekraczać wartości dopuszczalne. W tabeli 1 przedstawiono wyniki badań koncentracji podstawowych produktów spalania materiału odpadowego w rejonie zapożarowanego zwałowiska — stwierdzone przy jego powierzchni i 0,5 m nad nią. Należy dodać, że na skutek dyspersji wydzielających się gazów pożarowych, poza obrębem zwałowiska stężenia tych substancji są znacznie niższe. Jednak w sytuacji, kiedy dostęp do omawianych obiektów nie jest ograniczony w sposób definitywny, mamy do czynienia z istotnym zagrożeniem bezpieczeństwa osób lub zwierząt pojawiających się na terenie palącego się zwałowiska.

W trakcie pożaru zwałowiska w jego wnętrzu zachodzą procesy zbliżone do wylewania czy nawet koksowania węgla. Materiał odpadowy zawierający znaczną zawartość węgla i związków siarki poddawany działaniu wysokiej temperatury w warunkach ograniczonego dostępu tlenu podlega procesowi termicznego rozkładu (pirolizy). W efekcie tego zjawiska mogą wydzielać się kolejne produkty gazowe, m.in. ditlenek siarki, ditlenek azotu, węglowodory alifatyczne i aromatyczne, siarkowodór i disiarczki węgla.

TABELA 1

**Wyniki pomiarów stężeń gazów na składowisku odpadów powęglowych
w Siemianowicach Śląskich**

Punkt	Miejsce pomiaru	CO ppm	SO ₂ ppm	O ₂ %obj	C _x H _y %obj	NO _x ppm	CO ₂ %obj	t _{gazu} °C	t _{gruntu} °C
1	na wys. 0,5 m	4	0	20,8	0	0	0,02	31	–
2	na wys. 0,5 m	617	2	20,5	0,16	1	0,16	37	320
	przy powierz.	1420	3	20,3	0,16	1	0,30	49	
3	na wys. 0,5 m	2000	15	20,1	0,60	1	0,37	39	115
4	na wys. 0,5 m	203	0	20,4	0,03	2	0,23	24	188,8
	przy powierz.	295	0	20,4	0,04	2	0,27	25	
5	na wys. 0,5 m	666	3	20,0	0,08	4	0,49	34	60,0
	przy powierz.	1015	3	20,0	0,10	2	0,42	38	
6	na wys. 0,5 m	96	0	20,1	0,02	2	0,42	30	31,0
	przy powierz.	47	0	20,0	0,01	2	0,45	30	
7	na wys. 0,5 m	23	0	20,0	0,01	2	0,50	30	29,4
	przy powierz.	83	0	19,9	0,03	2	0,53	30	
8	na wys. 0,5 m	12	0	20,4	0,01	2	0,53	30	27,0
	przy powierz.	0	0	20,5	0	2	0,15	29	
9	na wys. 0,5 m	408	0	19,8	0,03	2	0,60	30	128,0
	przy powierz.	1292	3	19,7	0,18	2	0,66	29	
10	na wys. 0,5 m	44	0	20,2	0,01	2	0,57	30	170,7
	przy powierz.	28	0	20,2	0,03	2	0,57	31	
11	na wys. 0,5 m	0	0	20,8	0	2	0,55	32	55,0
	przy powierz.	0	0	20,8	0	2	0,55	32	
12	na wys. 0,5 m	0	0	20,8	0,02	2	0,52	32	22,0
	przy powierz.	0	0	20,8	0,01	2	0,53	31	
13	na wys. 0,5 m	3	0	20,9	0	0	0,03	32	22,1
	przy powierz.	0	0	20,9	0	0	0,03	32	
14	na wys. 0,5 m	0	0	20,9	0	0	0,03	31	19,0
	przy powierz.	4	0	20,9	0	0	0,03	30	
15	na wys. 0,5 m	5	0	20,9	0	0	0,03	28	–

Wysokie koncentracje wymienionych substancji w powietrzu mogą pojawić się w warunkach intensywnych pożarów, którym towarzyszą temperatury materiału odpadowego we wnętrzu zwałowiska dochodzące do 450÷800°C lub wyżej. Widoczne są wówczas wyraźne objawy pożaru na powierzchni zwałowiska. Zjawiska termiczne mogą również objawiać się w sposób bardziej skryty, temperatury wewnątrz hałdy są niższe, a stężenia gazów w otoczeniu śladowe.

Często jednak pomimo nieznacznych stężeń substancji gazowych wydzielanych z palącego się zwałowiska w bliskim jego otoczeniu odczuwany jest wyraźny dyskomfort zapachowy. Przyczyną tego są niektóre wymienione substancje należące do grupy odorantów. Substancje te są wyraźnie wyczuwane w sąsiedztwie czynnego termicznie zwałowiska pomimo tego, że ich stężenia są znacznie niższe od wartości dopuszczalnych w atmosferze [1], ich próg wyczuwalności zapachowej jest bowiem niższy od wartości dopuszczalnego stężenia. Można tu wymienić głównie związki siarki i węglowodory.

Istotnym zagrożeniem ze strony palącego się zwałowiska jest zwiększone zapylenie atmosfery w jego sąsiedztwie. Wysoka temperatura materiału odpadowego powoduje usunięcie z niego wilgoci. Sprzyja to zwiększonej możliwości wynoszenia przez wiatr drobnych i suchych ziaren przepalonego materiału odpadowego. Szczególnie silna emisja pyłu ma miejsce podczas wszelkiego typu prac związanych z eksploatacją czy przebudową zwałowiska.

Zanieczyszczeniu powietrza oraz pojawieniu się dyskomfortu zapachowego niemal zawsze towarzyszy pojawienie się uzasadnionych skarg mieszkańców terenów przyległych do czynnego termicznie zwałowiska. Konieczne są zatem działania zapobiegawcze, uniemożliwiające powstanie tego niekorzystnego zjawiska. Natomiast w przypadku pojawienia się zjawisk termicznych konieczna jest niezwłoczna ich likwidacja w celu ograniczenia możliwości rozwoju.

3. Zapobieganie i zwalczanie zagrożenia pożarowego na zwałowiskach odpadów powęglowych

Zapobieganie pożarom na składowiskach odpadów z kopalń węgla kamiennego związane jest z podjęciem stosownych działań już na etapie budowy składowiska. Niedopuszczenie do powstania pożaru egzogenicznego jest stosunkowo łatwe, gdyż wystarczy unikać przyczyn, jakie je wywołują, tj. rozpalania ognisk, wypalania traw w obrębie lub sąsiedztwie składowiska itp. Jednak lokalna społeczność nie zawsze posiada stosowną świadomość problemu i odpowiedzialność, dlatego dochodzi wciąż do pożarów wywołanych w ten sposób.

Zapobieganie pożarom endogenicznym, które powstają i rozwijają się w sposób ukryty, polega natomiast na eliminacji lub raczej minimalizacji przynajmniej jednego z czynników warunkujących jego powstanie. Prowadzić można zatem działania zmniejszające zawartość w odpadach substancji aktywnych w stosunku do tlenu, ograniczające dostęp powietrza do wnętrza składowiska lub zmniejszające możliwość akumulacji ciepła.

W praktyce nie ma możliwości usunięcia w sposób całkowity części palnych z materiału zwałowego, możliwe jest jedynie obniżenie ich koncentracji poprzez wymieszanie z innym materiałem niepalnym, najlepiej drobnoziarnistym, który pozwoli jednocześnie ograniczyć dostęp powietrza do wnętrza zwałowiska. Istnieje także możliwość wpływania na aktywność chemiczną węgla oraz skał węglowych zawartych w odpadach, w stosunku do tlenu z powietrza. Środki zwane antypirogenami obniżają wymienioną aktywność chemiczną. Do skutecznych antypirogenów należą głównie związki wapnia, np. $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, CaCO_3 , CaCl_2 [11]. Materiał odpadowy w trakcie budowy zwałowiska przewarstwia się zwykle cienką warstwą antypirogenów.

Obecnie głównym elementem prewencji przeciwpożarowej jest odcięcie lub raczej znaczne ograniczenie dostępu powietrza do wnętrza składowiska.

W polskim górnictwie znalazły zastosowanie w tym zakresie dwa podstawowe sposoby:

- 1) zagęszczanie materiału zwałowego metodą wibracyjną; zabieg ten powoduje zmianę struktury masy odpadowej na bardziej szczelną i mniej przepuszczającą powietrze;
- 2) uszczelnianie zwałowiska za pomocą drobnoziarnistych materiałów.

Wykorzystuje się tutaj m.in. glinę lub popioły lotne z elektrowni. Uszczelnienie może być zrealizowane powierzchniowo lub wewnątrznie, na przykład poprzez przewarstwianie, iniekcję otworową, rowy chłonne lub wymieszanie wymienionych materiałów drobnoziarnistych z odpadami.

Istotne znaczenie w profilaktyce pożarowej ze względu na dostęp powietrza do wnętrza hałdy odgrywa również sposób zwałowania odpadów, wysokość i kształt zwałowisk, a także łagodne nachylenie skarp.

Pewne możliwości poprawy skuteczności zabiegów prewencyjnych dają także metody związane ograniczeniem możliwości akumulacji ciepła powstającego w trakcie samoutleniania substancji palnych zawartych w odpadach.

Różnorodność czynników, które wpływają na samozagrzewanie i samozapalenie się zwałowisk sprawia, że zabezpieczenie przed tym niekorzystnym zjawiskiem obiektów zbudowanych z odpadów powęglowych nie należy do zadań łatwych. Pożary zwałowisk świadczą o tym, że celowe jest dalsze poszukiwanie skutecznych metod prewencji bądź konieczne jest zastosowanie w szerszym zakresie już tych istniejących.

Niezwykle ważną rolę w profilaktyce przeciwpożarowej zwałowisk odgrywa monitoring. Obiekty zbudowane z odpadów powęglowych, na których istnieje niebezpieczeństwo pojawienia się zjawisk termicznych, powinny podlegać regularnie prowadzonym obserwacjom stanu termicznego. Odpowiednio szybkie wykrycie zapoczątkowanych procesów samozagrzewania pozwala bowiem na natychmiastowe podjęcie stosownych zabiegów prewencyjnych i niedopuszczenie do ich rozwoju i powstania pożaru.

Ocena zagrożenia pożarowego opiera się o następujące sposoby wczesnego wykrywania aktywności termicznej zwałowiska:

- 1) obserwacje zewnętrznych objawów samozagrzewania, tj.:
 - wydzielanie się dymu i pary wodnej z powierzchni zwałowiska,

- zapach produktów pirolizy węgla, ciemne plamy na powierzchni będące wynikiem skraplania produktów pirolizy węgla, wykwyty siarki w miejscach wydzielania gazów pożarowych, wysychanie i zanikanie szaty roślinnej w strefach aktywności termicznej,
 - zanikanie pokrywy śnieżnej porą zimową itp.;
- 2) badania składu atmosfery wnętrza zwałowiska, przede wszystkim pod kątem obecności CO, CO₂ oraz ubytku tlenu;
 - 3) badania temperatury materiału odpadowego na powierzchni zwałowiska lub/i w jego wnętrzu.

Najpewniejszym z wymienionych sposobów monitoringu w tym zakresie jest oparty na pomiarach temperatury materiału zgromadzonego na hałdzie.

Niepodjęcie działań związanych z profilaktyką przeciwpożarową zazwyczaj prędzej czy później powoduje pojawienie się zjawisk termicznych. Wówczas jeszcze trudniejszym zadaniem staje się likwidacja powstałego pożaru.

Na przestrzeni wielu lat doświadczeń zakładów górniczych i jednostek naukowych w walce z zagrożeniem pożarowym na zwałowiskach wykształciły się techniki likwidacji zapożarowania o różnym stopniu skuteczności.

Pierwszym i powszechnie stosowanym w przeszłości sposobem gaszenia pożarów było zlewanie powierzchni palącego się składowiska wodą. Wywoływało to w krótkim czasie szybkie obniżenie temperatury nagrzanego materiału odpadowego, lecz skutkowało także erozją powierzchni składowiska i wypłukiwaniem spośród grubszych ziaren materiału drobnoziarnistego, co w efekcie powodowało ułatwienie dostępu powietrza i w krótkim czasie nawrót zjawisk termicznych. Z tych względów nie stosuje się obecnie tego zabiegu, chyba że towarzyszy mu natychmiastowe wybranie wychłodzonego materiału. Obecnie likwidacja występujących pożarów na składowiskach sprowadza się najczęściej do działań prowadzących głównie do ograniczenia dostępu powietrza do ich wnętrza. Dodatkowym zabiegiem poprawiającym skuteczność może być chłodzenie materiału odpadowego w strefach zagrzania. Główne sposoby gaszenia palących się zwałowisk odpadów powęglowych obecnie stosowane na obiektach znajdujących się regionie Górnego Śląska [4, 5] to:

- wybieranie palącego się materiału odpadowego z jednoczesnym jego chłodzeniem,
- izolowanie powierzchni składowiska niepalnym materiałem drobnoziarnistym,
- ciśnieniowe zatłaczanie mieszanin wodno-popiołowych do wnętrza składowiska,
- tworzenie tzw. rowów chłonnych i wypełnianie ich mieszaniną popiołowo-wodną,
- wykonanie zagęszczonego nasypu rekultywacyjnego wokół bryły składowiska i wypełnianie przestrzeni między płonącym składowiskiem a nasypem mieszaniną popiołowo-wodną,
- gaszenie i chłodzenie bryły składowiska gazem obojętnym (azot, ditlenek węgla).

Zastosowanie wymienionych metod warunkowane jest indywidualnymi cechami zwałowisk, takich jak położenie, kształt, wysokość i nachylenie skarp, stopień zapożarowania i przepalenia materiału odpadowego, możliwość wykorzystania przedpola hałdy itp.

Ostatni z wymienionych sposobów jako nowatorski zastosowany został na składowisku Waleska KWK „Bolesław Śmiały” [2]. Przeprowadzone badania i uzyskane rezultaty sugerują, że zastosowanie ciekłego CO₂ wtłaczanego otworami pod ciśnieniem do zwałowiska może skutecznie wypierać tlen w atmosferze jego wnętrza i przyczynić się do przyspieszenia obniżania temperatury.

Badania nad pozyskiwaniem energii cieplnej z aktywnych termicznie zwałowisk udowodniły, że można także w istotny sposób obniżyć temperaturę zagrzanego materiału odpadowego przez zastosowanie rurowych wymienników ciepła, przez które przepływa medium chłodzące (woda) [6].

Podjęcie akcji gaszenia także poprzedzone musi być oceną stanu termicznego, której celem jest lokalizacja stref aktywnych termicznie i intensywności zachodzących w nich zjawisk. Wskazane jest także, by pracom związanym z likwidacją zapożarowania towarzyszyły, w miarę możliwości, prace rekultywacyjne polegające na tworzeniu obudowy biologicznej, która ogranicza erozję skarp i wierzchowiny zwałowiska.

4. Podsumowanie

Znaczna zawartość substancji palnych w skalnych odpadach powęglowych sprawia, że zlokalizowane licznie w obszarze Górnego Śląska zwałowiska gromadzące ten materiał wciąż narażone są na pojawienie się aktywności termicznej.

Obecnie istnieje co najmniej kilkanaście hałd, na których występują zjawiska termiczne o mniejszej lub większej intensywności. Składowiska te stanowią lub mogą w bliskim czasie stanowić istotny problem dla lokalnych władz i kopalń, do których one należą. Ze względu na emisję złownych substancji do powietrza są często źródłem uciążliwości dla bezpośrednio sąsiadujących z nimi osiedli mieszkaniowych. Ograniczenie występowania tego problemu jest możliwe poprzez stosowanie wypracowanych zasad profilaktyki i działań związanych z wczesnym wykrywaniem zagrożenia pożarowego. Na najbardziej narażonych obiektach konieczne jest zatem prowadzenie regularnego monitoringu.

Celowe jest także poszukiwanie coraz to bardziej skutecznych metod profilaktyki i zwalczania zagrożenia pożarowego obiektów zbudowanych z odpadów powęglowych, a także możliwości gospodarczego wykorzystania tego materiału, co przyczyni się do ograniczenia liczby i kubatury istniejących zwałowisk.

LITERATURA

- [1] *Adamczyk Z., Bialecka B.*: Kształtowanie się zanieczyszczeń powietrza w strefie składowania odpadów powęglowych na przykładzie termicznie czynnego zwałowiska. *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów*, 33, 5, 1999
- [2] *Buchwald P., Korski J.*: Zastosowanie ciekłego CO₂ do profilaktyki i zwalczania ognisk pożarowych składowisk odpadów pogórnich. *Materiały konferencyjne 4 Szkoły Aerologii Górniczej, Kraków, 2006*
- [3] *Cygankiewicz J.*: Modelowanie emisji gazów z zagrzewającego się złoża węgla. *Materiały konferencyjne 4 Szkoły Aerologii Górniczej, Kraków, 2006*

- [4] *Korski J., Henslok P., Friede R.*: Uwagi o przyczynach powstawania pożarów składowisk odpadów górniczych, zwalczaniu pożarów i profilaktyce przeciwpożarowej. Kraków, Seminarium Instytutu Mechaniki Górotworu PAN 2005
- [5] *Mólka M.*: Czy zwałowiska górnicze muszą się palić? Ekoprofit, 9, 1999
- [6] *Różański Z.*: Pozyskiwanie ciepła ze składowisk odpadów powęglowych podlegających naturalnym procesom utleniania. Gliwice, Politechnika Śląska 2003 (praca doktorska)
- [7] *Saranczuk W.I.*: Borba s gorienijem parodnych otwałow. Kijów, Naukowa Dumka 1978
- [8] *Sikorska-Mayakowska M., Barszcz A., Grabowski D., Lewandowski P., Strzelecki R.*: Waloryzacja środowiska przyrodniczego i identyfikacja jego zagrożeń na terenie województwa śląskiego. Warszawa, Państwowy Instytut Geologiczny — Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego 2001
- [9] *Skarżyńska K.M.*: Odpady powęglowe i ich zastosowanie w inżynierii lądowej i wodnej. Kraków, Wyd. Akademii Rolniczej 1997
- [10] *Szafer M.*: Nowe metody prewencji pożarowej i rekultywacji technicznej zwałów odpadów kopalnianych. Przegląd Górniczy, 9, 1985
- [11] *Urbański H.*: Rekultywacja techniczna usypisk odpadów kopalnianych ze szczególnym uwzględnieniem zwalczania pożarów. Materiały Szkoleniowe SITG. Katowice, Wyd. SITG 1983

