

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 (chłonnych) 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.

Požary 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. Dobrą 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.

2.1.1.2. 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 ility 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.

2.1.1.3. 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 niezmiennym 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 inżynierskich. 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).

Szczególным 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 (Zborszczyk i in. 1985). W Polsce badania nad stosowaniem antypirogenów były prowadzone w Głównym Instytucie Górniczym 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 nieoptyczne. 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 (Buchwałd, 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 zwałowiska 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 zrekultywowanych 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 drobnopulpowego (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 popielowo-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 zrekompensovane 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 grubopulpowych i drobnopulpowych	Sprzęt ciężki: koparki, spychacze, sprzęt transportowy	Materiał grubopulpowy i drobnopulpowy 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 uwagą 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 haldenbegrenung 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

Przemysław Rompalski, Leokadia Róg**

WYNIKI PIERWSZEJ TURY MIĘDZYNARODOWYCH BADAŃ PORÓWNAWCZYCH W ZAKRESIE PARAMETRÓW JAKOŚCIOWYCH WĘGLA KAMIENNEGO

Streszczenie

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 12 września 2008 roku (Dz. U. nr 183, poz. 1142) w sprawie sposobu monitorowania wielkości emisji substancji objętych wspólnym systemem handlu uprawnieniami do emisji, analizy fizykochemiczne paliw powinny być wykonywane w laboratoriach mających system zarządzania zgodny z normą PN-EN ISO/IEC 17025:2005. W tak zarządzanych laboratoriach badawczych stosowane procedury i zasady gwarantują wiarygodność uzyskiwanych wyników badań. Ważnym elementem systemu zarządzania jest również badanie biegłości, które może być oceniane na podstawie wyników uzyskiwanych w badaniach międzylaboratoryjnych.

Przekonanie, że w laboratorium są wykonywane wiarygodne badania, jest najważniejszą sprawą dla klientów korzystających z jego usług. Programy badań międzylaboratoryjnych są wykorzystywane przez jednostki akredytujące laboratoria do oceny zdolności laboratoriów do kompetentnego wykonania badań i pomiarów.

W artykule przedstawiono wyniki pierwszej tury międzynarodowych badań porównawczych, zorganizowanych przez Zakład Oceny Jakości Paliw Stałych Głównego Instytutu Górnictwa.

Badania porównawcze zostały zorganizowane dla polskich firm energetycznych, uczestniczących w programie handlu uprawnieniami do emisji oraz dla firm zagranicznych i przedstawicieli firm zagranicznych w Polsce.

Results of the first round of international comparative tests with respect to hard coal quality parameters

Abstract

In conformity with the Order of the Minister of Environment of 12 September 2008 (Journal of Laws of the Republic of Poland No 183, item 1142) on the way of monitoring of the emission quantity of substances comprised by the European Union Emission Trading Scheme, physico-chemical analyses of fuels should be carried out in laboratories having a management system consistent with the PN-EN ISO/IEC 17025:2005 standard. In testing laboratories managed in such a manner the applied procedures and principles guarantee the reliability of obtained test results. An important element of the management system is also the proficiency testing, which can be assessed on the basis of results obtained in interlaboratory tests.

The conviction that in the laboratory are carried out reliable tests is the most important matter for the clients using its service. The programmes of interlaboratory tests are used by bodies accrediting laboratories for the evaluation of capacity of laboratories for competent performing of tests and measurements.

The article presents the results of the first round of international comparative tests, organised by the Department of Solid Fuels Quality Assessment of the Central Mining Institute.

The comparative tests have been organised for Polish energy companies participating in the emissions trading programme as well as for foreign firms and representatives of foreign firms in Poland.

* Główny Instytut Górnictwa

1. WPROWADZENIE

Według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 12 września 2008 roku (Dz. U. nr 183, poz. 1142) w sprawie sposobu monitorowania wielkości emisji substancji objętych wspólnym systemem handlu uprawnieniami do emisji (Rozporządzenie 2008), analizy fizykochemiczne paliw powinny być wykonywane w laboratoriach mających system zarządzania zgodny z normą PN-EN ISO/IEC 17025:2005. W tak zarządzanych laboratoriach badawczych stosowane procedury i zasady gwarantują wiarygodność uzyskiwanych wyników badań. Ważnym elementem systemu zarządzania jest również badanie biegłości, które może być oceniane na podstawie wyników uzyskiwanych w badaniach międzylaboratoryjnych.

Badania międzylaboratoryjne mogą być wykorzystywane do:

- określania zdolności do wykonywania konkretnych badań i pomiarów,
- monitorowania osiągnięć laboratorium w zakresie dokładności wykonywanych analiz,
- identyfikowania problemów oraz inicjowania działań korygujących z zakresu kompetencji technicznych personelu,
- sprawdzania i wzorcowania aparatury,
- ustalania efektywności i porównywalności nowych metod badawczych,
- określania cech charakterystycznych nowej metody badawczej.

Badania międzylaboratoryjne są ważnym narzędziem wykorzystywanym do podniesienia jakości, a także pozwalają na monitorowanie możliwości analitycznych laboratoriów oraz porównywanie uzyskiwanych przez nie wyników z wynikami uzyskiwanymi przez podobne laboratoria. Przekonanie, że w laboratorium są uzyskiwane wiarygodne rezultaty, jest najważniejszą sprawą dla klientów korzystających z jego usług. Programy badań międzylaboratoryjnych są wykorzystywane przez jednostki akredytujące laboratoria do oceny zdolności laboratoriów do kompetentnego wykonywania badań i pomiarów (Przewodnik ISO/IEC 1997).

W artykule przedstawiono wyniki pierwszej tury międzynarodowych badań porównawczych, zorganizowanych przez Zakład Oceny Jakości Paliw Stałych Głównego Instytutu Górniczego. Badania te dotyczyły polskich firm energetycznych, uczestniczących w programie handlu uprawnieniami do emisji oraz firm zagranicznych i przedstawicieli firm zagranicznych w Polsce.

2. PRZEDMIOT I METODYKA ORGANIZACJI BADAŃ PORÓWNAWCZYCH

System badań porównawczych funkcjonuje według określonego planu: nabór uczestników, przygotowanie materiału do badań (PN-G-04502:1990; Róg i in. 2008), badania jednorodności przygotowanego materiału (Volk 1973), dystrybucja próbek kontrolnych do uczestników badań, zebranie i analiza otrzymanych wyników, sporządzenie raportu końcowego zawierającego wnioski z danej tury badań międzylaboratoryjnych, stanowiącego jednocześnie świadectwo z badań porównawczych. Wszystkie dokumenty oraz raport końcowy są sporządzone w języku polskim dla polskich uczestników oraz w języku angielskim – dla uczestników zagranicznych.

Pierwsza tura międzynarodowych badań porównawczych została zorganizowana w 2010 r. Zakres badań obejmował następujące parametry jakościowe węgla kamiennego: zawartość wilgoci (PN-G-04560:1998; PN-G-04511:1980), popiołu (PN-G-04560:1998; PN-ISO 1171:2002), siarki całkowitej (PN-G-04584:2002; PN-ISO 334:1997), pierwiastka węgla (PN-G-04571:1998) oraz ciepła spalania (PN-G-04513:1981). Podstawę badań stanowiły wytyczne i narzędzia statystyczne zamieszczone w Przewodniku ISO/IEC 43-1 (1997) oraz w Przewodniku ISO/IEC 35 (1989).

Zaproszenia do wzięcia udziału w badaniach porównawczych zostały skierowane do:

- laboratoriów zakładów energetycznych,
- laboratoriów związanych z górnictwem (zakłady górnicze),
- laboratoriów działających samodzielnie poza strukturami organizacyjnymi wymienionymi powyżej,
- polskich filii laboratoriów zagranicznych,
- laboratoriów zagranicznych.

W pierwszej turze międzynarodowych badań porównawczych węgla kamiennego w 2010 r. wzięło udział 11 uczestników, z czego siedem to laboratoria polskie, dwa to filie laboratoriów zagranicznych oraz dwa to laboratoria zagraniczne. Tylko sześć z nich miało akredytację.

Uczestnicy do oznaczania parametrów stosowali różne metody i różne urządzenia analityczne, które zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Urządzenia wykorzystywane do badań oraz metody badawcze

Parametr	Metoda	Urządzenie
Popiół A ^a	PN-80/G-04512 PN-G-04560:1998 PN-ISO 1171:2002 metoda własna	piec do spalań piec do spalań PM-6/1100A piec laboratoryjny NABERTHERM termograwimetr ELTRA
Ciepło spalania Q ^a	PN-ISO 1928:2002 PN-G-04513:1981 PN-81/G-04513 metoda własna	kalorymetr KL-12 kalorymetr ELTRA kalorymetr LECO AC500 kalorymetr LECO AC600 kalorymetr LECO AC350 kalorymetr IKA C5000
Siarka całkowita S ^a	PN-ISO 351:1999 PN-G-04584:2001 metoda własna	analizator ELTRA CS500 analizator ELTRA CHS500 analizator ELTRA CHS580 analizator LECO SC144 analizator LECO SC132 analizator LECO TruSpecS
Pierwiastek C ^a	PN-G-04571:1998 PN-G-04584:2001 metoda własna	analizator TrueSpec CHN analizator ELTRA CS500 analizator ELTRA CHS500 analizator ELTRA CHS580 analizator LECO CHN1000

3. PRZYGOTOWANIE PRÓBEK KONTROLNYCH DO BADAŃ

Do badań pobrano pięć próbek ogólnych o masie około 100 kg z pięciu kopalń produkujących węgle energetyczne. Próbki te skruszono w całości do uziarnienia poniżej 3 mm i przygotowano z każdej z nich próbki laboratoryjne. Próbki laboratoryjne doprowadzono do stanu powietrzno suchego, susząc je w temperaturze pokojowej. Następnie całe próbki laboratoryjne zmielono do uziarnienia poniżej 0,2 mm. Wszystkie czynności wykonano zgodnie z normą PN-G-04502 (1990).

Zmielone próbki laboratoryjne węgla podzielono na próbki kontrolne, o masie około 200 g, z przeznaczeniem dla każdego uczestnika. Każdy z uczestników otrzymał komplet pięciu próbek kontrolnych węgla kamiennego o zróżnicowanych parametrach jakościowych. Dla każdej przygotowanej próbki kontrolnej wykonano analizy sprawdzające na: zawartość popiołu, siarki całkowitej, pierwiastka C oraz ciepło spalania.

4. BADANIA JEDNORODNOŚCI PRÓBEK

Na wszystkich przygotowanych próbkach kontrolnych wykonano analizy sprawdzające, polegające na trzykrotnym oznaczeniu zawartości popiołu i pierwiastka węgla. W ten sposób uzyskano serie wyników dla każdego badanego parametru, składające się z trzech wyników.

W celu określenia jednorodności próbek kontrolnych oraz istotności statystycznej serii wyników, uzyskanych podczas wykonywania analiz sprawdzających każdej próbki kontrolnej, przeprowadzono testy t-Studenta i F-Snedecora (Volk 1973).

Test t-Studenta umożliwia określenie istotności różnicy wartości średnich, obliczonych dla dwóch niezależnych serii pomiarowych, liczących odpowiednio N_x oraz N_y wyników.

W pierwszej kolejności obliczono odchylenie standardowe S dla wszystkich serii pomiarowych, korzystając ze wzoru

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (1)$$

gdzie:

S – odchylenie standardowe serii pomiarowej,

X_i – kolejne wartości parametru otrzymane dla danej próbki kontrolnej,

\bar{X} – średnia arytmetyczna otrzymanych wartości parametru w danej próbce kontrolnej,

N – liczba wyników oznaczania parametru w danej próbce kontrolnej.

Następnie wyniki, wyliczonych odchyłeń standardowych S z serii, pogrupowano w pary, które porównywano ze sobą. Dla tych par obliczono łączne odchylenie standardowe S_c , wyrażone wzorem

$$S_C = \sqrt{\frac{S_x^2(N_x - 1) + S_y^2(N_y - 1)}{N_x + N_y - 2}} \quad (2)$$

gdzie:

S_x, S_y – odchylenia standardowe serii pomiarowych x oraz y według wzoru (1),

S_x^2, S_y^2 – wariancje dla serii pomiarowych x oraz y ,

N_x, N_y – liczba wyników oznaczania pomiarów w seriach pomiarowych x oraz y .

W ostatnim etapie testu t-Studenta obliczono wartość t według wzoru

$$t = \frac{|\bar{X}_x - \bar{X}_y|}{S_C \sqrt{\frac{1}{N_x} + \frac{1}{N_y}}} \quad (3)$$

gdzie \bar{X}_x, \bar{X}_y – średnie arytmetyczne parametrów w seriach pomiarowych x oraz y .

Otrzymane wartości t porównano z wartością tablicową t_{krt} (Volk 1973).

Te same serie wyników poddano ocenie testem F-Snedecora, który jest testem istotności różnicy precyzji, charakteryzującej dwie porównywane serie wyników. W teście tym porównuje się dwie wartości odchyłeń standardowych S_x i S_y (o odpowiednich stopniach swobody $\nu_x = N_x - 1$ i $\nu_y = N_y - 1$). Test F może zatem odpowiedzieć na pytanie: czy obydwie badane serie wyników są równorzędnie precyzyjne, to znaczy czy są statystycznie identyczne dla określonego poziomu istotności.

W tym przypadku przeanalizowano równość dla identycznego kwantylu granicznego F_{kryt} podaną wzorem

$$F = \frac{S_x^2}{S_y^2} \quad (4)$$

Można jednak zauważyć, że relacja (4) jest symetryczna i równie dobrze może być rozpatrywana jako odwrotność, czyli

$$F^* = \frac{1}{F} \quad (5)$$

Następnie otrzymane wartości F oraz F^* porównano z wartością tablicową F_{kryt} (Volk 1973).

Jeśli porównywane wartości t, F i F^* , dla wszystkich par, nie przekraczają wartości krytycznych, odpowiednio t_{kryt}, F_{kryt} , podanych w tablicach statystycznych (Volk 1973), należy uznać, że wszystkie próbki są jednorodne pod względem jakości i można je użyć do badań międzylaboratoryjnych. Jeśli jednak któraś z porównywanych wartości t, F, F^* przekroczyłaby wartości krytyczne t_{kryt}, F_{kryt} , należałoby odrzucić próbkę kontrolną, do której te wartości się odnoszą i zastąpić ją nową.

Obu testom, jak podano wcześniej, poddano wyniki oznaczania zawartości popiołu oraz pierwiastka węgla, uzyskane dla każdej z próbek kontrolnych. Wyznaczone wartości statystyczne każdego z testów porównano z wartościami krytycznymi. War-

tość krytyczna t_{kryt} (dla poziomu ufności $P = 95\%$) była równa 2,306, natomiast F_{kryt} (dla poziomu ufności $P = 95\%$) – 6,39.

Wyznaczone wartości statystyczne oraz wartości krytyczne obu testów podano w tabelach 2 i 3.

Tabela 2. Wyniki testów t-Studenta oraz F-Snedecora dla oznaczania zawartości popiołu pięciu serii węgla kamiennego

Test	Numer próbki kontrolnej				
	1	2	3	4	5
t-Studenta	0,33	0,28	0,34	0,30	0,22
$t_{kryt} = t_{0,05;8}$	2,306				
F-Snedecora F/F	0,45/2,24	0,46/2,19	0,65/1,53	0,63/1,59	0,42/2,37
$F_{kryt} = F_{0,05;4;4}$	6,39				

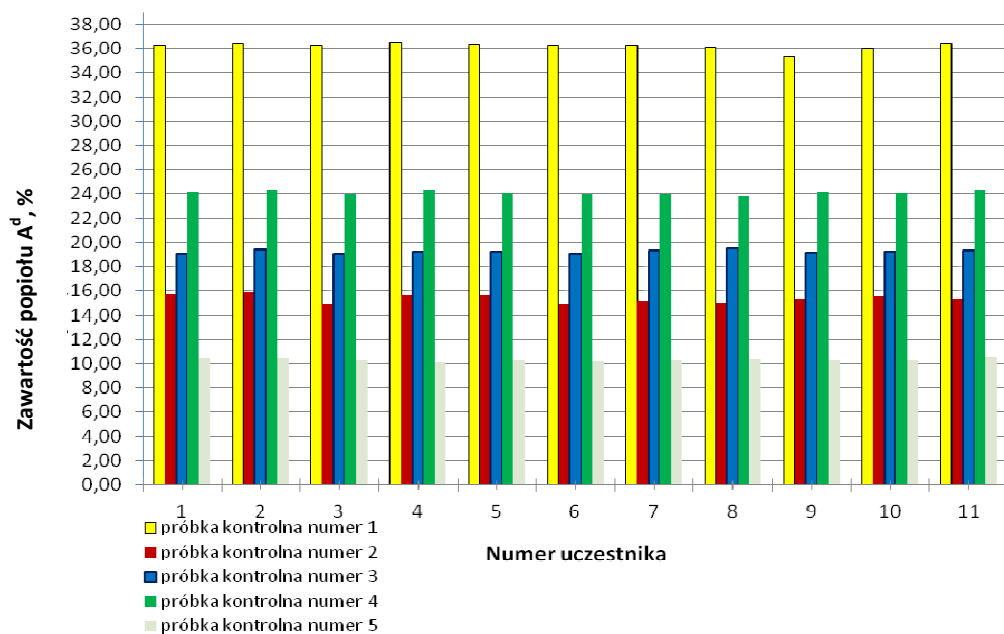
Tabela 3. Wyniki testów t-Studenta oraz F-Snedecora dla oznaczania zawartości pierwiastka węgla pięciu serii węgla kamiennego

Test	Numer próbki kontrolnej				
	1	2	3	4	5
t-Studenta	0,43	0,69	0,55	0,46	0,62
$t_{kryt} = t_{0,05;8}$	2,306				
F-Snedecora F/F	0,50/1,99	0,43/2,31	0,48/2,10	0,46/2,17	0,71/1,40
$F_{kryt} = F_{0,05;4;4}$	6,39				

Z tabel 2 i 3 wynika, że każda otrzymana wartość statystyczna dla każdego parametru, jest niższa od wartości krytycznej, co świadczy o tym, że: według testu t-Studenta zachodzi równorzędność otrzymanych wyników oznaczania zawartości popiołu oraz zawartości pierwiastka węgla dla węgla kamiennego, natomiast według testu F-Snedecora zachodzi równorzędność w kategorii rozkładu błędu (precyzji).

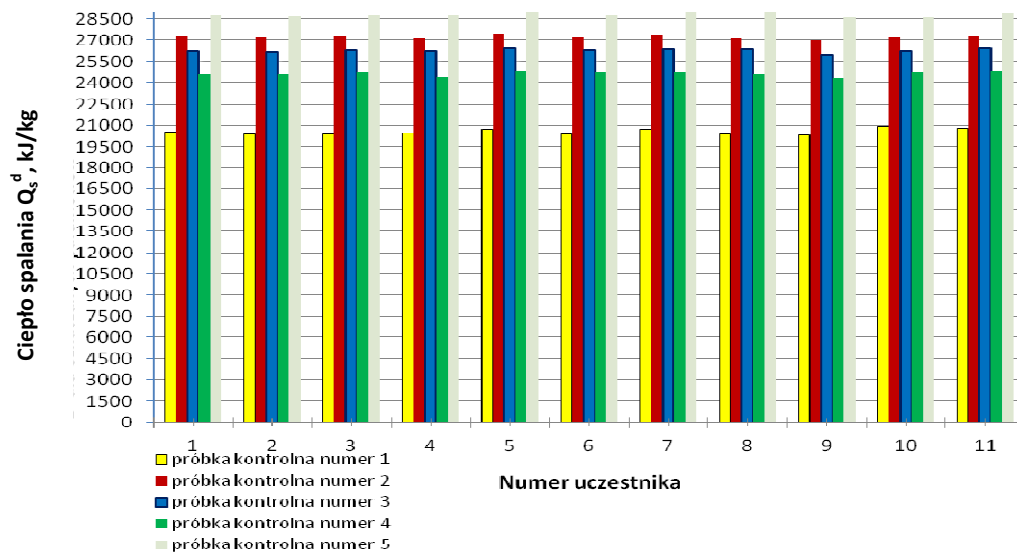
5. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Na rysunkach od 1 do 4 przedstawiono średnie wyniki badań, uzyskane przez uczestników.



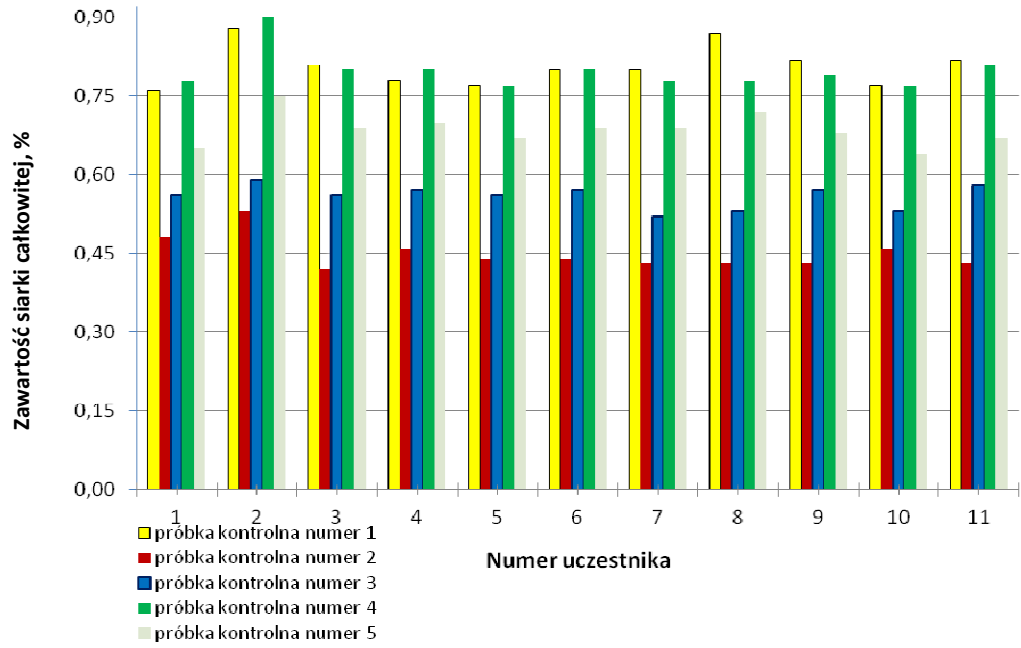
Rys. 1. Średnie wyniki oznaczania zawartości popiołu A^d dla pięciu próbek kontrolnych

Fig. 1. Average results of determination of the ash content A^d for five control samples



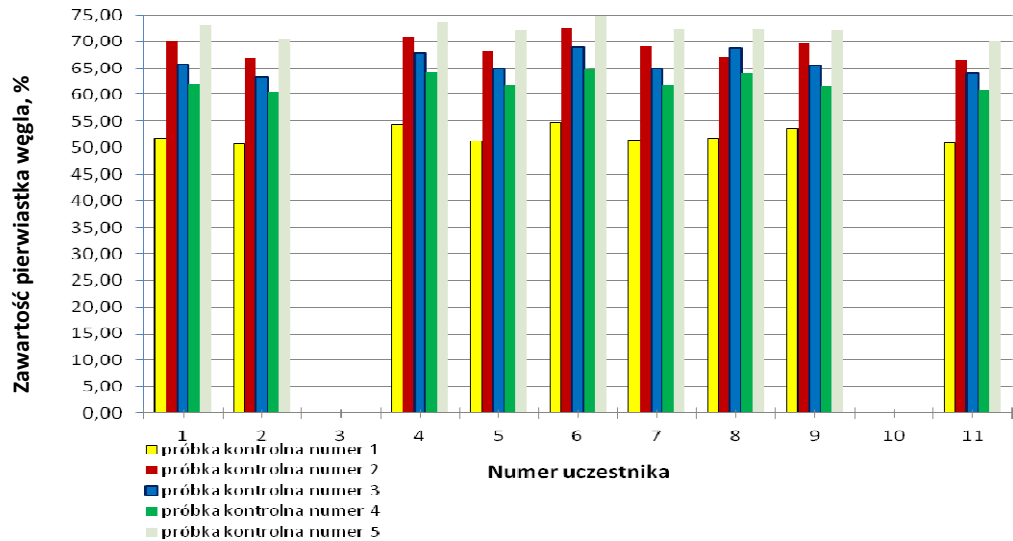
Rys. 2. Średnie wyniki oznaczania ciepła spalania Q_s^d dla pięciu próbek kontrolnych

Fig. 2. Average results of determination of the gross calorific value Q_s^d for five control samples



Rys. 3. Średnie wyniki oznaczania siarki całkowitej S^{T^d} dla pięciu próbek kontrolnych

Fig. 3. Average results of determination of total sulphur S^{T^d} for five control samples



Rys. 4. Średnie wyniki oznaczania pierwiastka węgla C^{T^d} dla pięciu próbek kontrolnych

Fig. 4. Average results of determination of the carbon element C^{T^d} for five control samples

Dla każdego z analizowanych parametrów fizykochemicznych wyznaczono wartość przypisaną X , która jest średnią wartością ze wszystkich wyników danego parametru, otrzymanych przez uczestników badań, dla danej próbki kontrolnej (tab. 4).

Następnie na podstawie wszystkich wyników danego parametru obliczono odchylenia standardowe S , według wzoru (1) – tabela 5 oraz wskaźniki z , według wzoru (6), które posłużyły do oceny biegłości laboratoriów (tab. 6)

$$z = \frac{x - X}{s} \quad (6)$$

gdzie:

- x – wartość parametru uzyskana przez uczestnika,
- X – wartość przypisana (średnia przypisana) czyli średnia arytmetyczna z wyników badań, otrzymanych przez uczestników dla danego parametru,
- s – odchylenie standardowe wyników badań parametru, otrzymanych przez uczestników.

Tabela 4. Wartości przypisane (średnia przypisana)

Parametr	Numer próbki kontrolnej				
	1	2	3	4	5
	wartość przypisana X				
Popiół A ^d	36,30	15,39	19,23	24,15	10,37
Ciepło spalania Q _s ^d	20 572	27 267	26 335	24 708	28 832
Siarka całkowita S ^d	0,81	0,45	0,56	0,80	0,69
Pierwiastek węgiel C ^d	52,20	68,95	66,12	62,57	72,39

Tabela 5. Odchylenia standardowe

Parametr	Numer próbki kontrolnej				
	1	2	3	4	5
	odchylenie standardowe s				
Popiół A ^d	0,22	0,33	0,16	0,17	0,12
Ciepło spalania Q _s ^d	189	131	105	147	139
Siarka całkowita S ^d	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03
Pierwiastek węgiel C ^d	1,44	2,10	2,06	1,53	1,52

W tabeli 6 oraz na rysunku 5 podano wartości wskaźnika z uzyskane przez każdego z uczestników badań międzylaboratoryjnych.

Wskaźniki z dla każdego parametru porównano z kryteriami podanymi poniżej, według Przewodnika ISO/IEC 43-1 (1997).

W laboratorium uzyskano wynik:

- zadowolający, jeśli $|z| \leq 2$,
- wątpliwy, jeśli $2 < |z| < 3$,
- niezadowolający, jeśli $|z| \geq 3$.

W tabeli 6 wyniki znajdujące się na poziomie wątpliwym zapisano kursywą, a wyniki znajdujące się na poziomie niezadowolającym – pogrubioną czcionką.

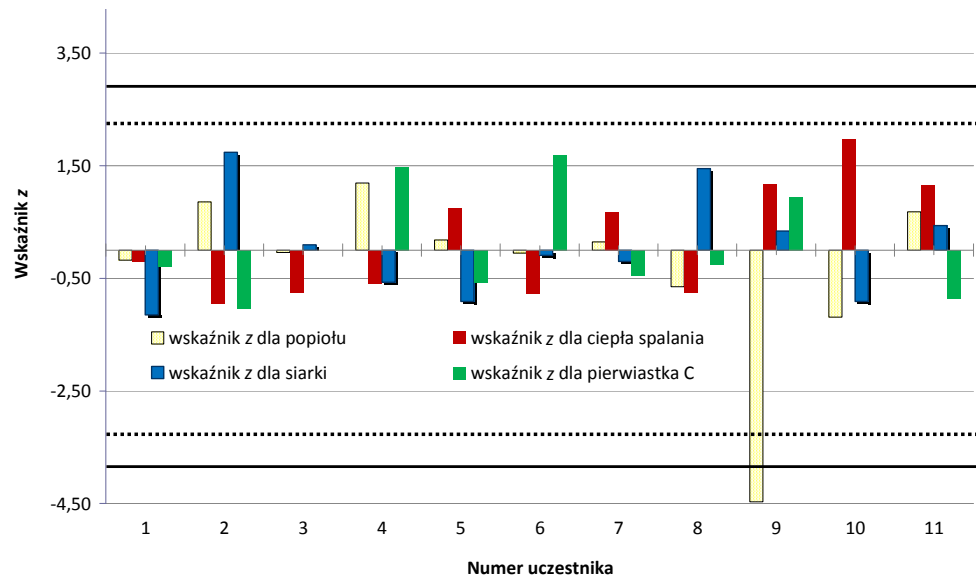
Poziom zadowolający oznacza przedział mieszczący się między dwiema liniami przerywanymi na rysunku 5; poziom wątpliwy oznacza przedział, mieszczący się między linią przerywaną a linią ciągłą pogrubioną, natomiast poziom niezadowolający oznacza przedział, mieszczący się poniżej i powyżej linii ciągłej pogrubionej.

Po przeprowadzeniu analizy wyników i wyciągnięciu wniosków sporządzono raport, który przesłano każdemu z uczestników badań.

Tabela 6. Wartości wskaźnika z uzyskane przez poszczególnych uczestników badań

Numer uczestnika	Numer próbki/parametr											
	1				2				3			
	A ^d	Q _s ^d	S _r ^d	C _t ^d	A ^d	Q _s ^d	S _r ^d	C _t ^d	A ^d	Q _s ^d	S _r ^d	C _t ^d
1	-0,18	-0,20	-1,15	-0,28	0,96	0,15	0,88	0,60	-0,88	-0,47	0,06	-0,18
2	0,86	-0,95	1,74	-1,04	1,54	-0,44	2,36	-0,97	1,09	-1,30	1,38	-1,32
3	-0,04	-0,75	0,10	-	-1,26	-0,16	-1,10	-	-1,23	0,06	0,13	-
4	1,19	-0,59	-0,57	1,48	0,67	-0,85	0,26	0,92	0,07	-0,36	0,37	0,86
5	0,18	0,74	-0,91	-0,57	0,63	1,75	-0,30	-0,39	-0,18	1,48	-0,10	-0,54
6	-0,05	-0,78	-0,09	1,69	-1,32	-0,27	-0,48	1,76	-1,12	-0,13	0,60	1,37
7	0,15	0,68	-0,20	-0,45	-0,72	1,55	-0,67	0,04	0,52	0,54	-1,63	-0,56
8	-0,65	-0,76	1,45	-0,25	-1,10	-0,89	-0,54	-0,91	1,81	0,66	-1,27	1,24
9	-4,47	1,17	0,34	0,95	-0,20	-2,12	-0,67	0,43	-0,38	-3,48	0,45	-0,23
10	-1,19	1,97	-0,91	-	0,50	-0,65	0,13	-	-0,18	-0,64	-1,27	-
11	0,68	1,15	0,44	-0,87	-0,16	0,86	-0,67	-1,13	0,38	1,07	0,99	-1,06

Numer uczestnika	Numer próbki/parametr							
	4				5			
	A ^d	Q _s ^d	S _r ^d	C _t ^d	A ^d	Q _s ^d	S _r ^d	C _t ^d
1	0,37	-0,41	-0,58	-0,32	0,84	-0,42	-1,20	0,46
2	1,23	-0,59	2,65	-1,26	1,25	-0,75	1,89	-1,21
3	-0,82	0,18	0,07	-	-0,59	-0,12	0,25	-
4	1,03	-1,73	-0,04	1,04	-1,72	-0,12	0,37	0,81
5	-0,27	1,22	-0,74	-0,45	-0,40	1,43	-0,38	-0,18
6	-0,96	0,13	-0,04	1,58	-0,91	-0,05	0,06	1,64
7	-0,64	0,62	-0,47	-0,50	-0,24	1,26	0,02	0,05
8	-1,52	-0,71	-0,47	0,95	0,58	0,93	0,94	-0,06
9	0,15	-2,23	-0,20	-0,59	-0,57	-1,74	-0,19	-0,17
10	-0,01	0,82	-0,79	-	-0,14	-1,70	-1,39	-
11	1,31	1,17	0,34	-1,01	-0,16	0,86	-0,67	-1,13



Rys. 5. Wskaźniki z określone dla próbek kontrolnych węgla

Fig. 5. Indices z determined for coal control samples

6. PODSUMOWANIE I OCENA WYNIKÓW

Międzynarodowe Badania Porównawcze zostały wykonane zgodnie z zaleceniami i wskazówkami zawartymi w Przewodniku ISO/IEC 43-1:1997 Badania biegiłości poprzez porównania międzylaboratoryjne oraz Przewodniku ISO/IEC 35 Certyfikacja materiałów odniesienia. Zasady ogólne i analiza statystyczna. Uzyskano następujące wyniki:

Próbki kontrolne 1

Różnice między wynikami uzyskanymi przez uczestników badań, w przypadku oznaczania:

- zawartości popiołu A^d dochodziły do 0,57%,
- ciepła spalania Q_s^d dochodziły do 163 kJ/kg,
- siarki całkowitej S_t^d dochodziły do 0,08%,
- zawartości pierwiastka węgla C_t^d dochodziły do 0,70%.

Wskaźniki z określone w większości laboratoriów znajdowały się na poziomie zadowalającym ($|z| \leq 2$). Jedynie w przypadku jednego laboratorium (numer 9), uzyskany wskaźnik z przekraczał poziom zadowalający (dla oznaczania zawartości popiołu).

Próbki kontrolne 2

Różnice między wynikami uzyskanymi przez uczestników badań, w przypadku oznaczania:

- zawartości popiołu A^d dochodziły do 0,37%,
- ciepła spalania Q_s^d dochodziły do 295 kJ/kg,
- siarki całkowitej S_t^d dochodziły do 0,05%,
- zawartości pierwiastka węgla C_t^d dochodziły do 0,83%.

Wskaźniki z określone w większości laboratoriów znajdowały się na poziomie zadowalającym ($|z| \leq 2$). Jedynie w przypadku dwóch laboratoriów (numer 2 i 9), uzyskany wskaźnik z przekraczał poziom zadowalający (dla oznaczania zawartości siarki całkowitej oraz ciepła spalania).

Próbki kontrolne 3

Różnice między wynikami uzyskanymi przez uczestników badań, w przypadku oznaczania:

- zawartości popiołu A^d dochodziły do 0,35%,
- ciepła spalania Q_s^d dochodziły do 152 kJ/kg,
- siarki całkowitej S_t^d dochodziły do 0,05%,
- zawartości pierwiastka węgla C_t^d dochodziły do 0,99%.

Wskaźniki z określone w większości laboratoriów znajdowały się na poziomie zadowalającym ($|z| \leq 2$). Jedynie w przypadku jednego laboratorium (numer 9), uzyskany wskaźnik z przekraczał poziom zadowalający (dla oznaczania ciepła spalania).

Próbki kontrolne 4

Różnice między wynikami uzyskanymi przez uczestników badań, w przypadku oznaczania:

- zawartości popiołu A^d dochodziły do 0,30%,
- ciepła spalania Q_s^d dochodziły do 214 kJ/kg,
- siarki całkowitej S_t^d dochodziły do 0,04%,
- zawartości pierwiastka węgla C_t^d dochodziły do 1,00%.

Wskaźniki z określone dla większości laboratoriów znajdowały się na poziomie zadowalającym ($|z| \leq 2$). Jedyne w przypadku dwóch laboratoriów (numer 2 i 9), uzyskany wskaźnik z przekraczał poziom zadowalający (dla oznaczania zawartości siarki oraz ciepła spalania).

Próbki kontrolne 5

Różnice między wynikami uzyskanymi przez uczestników badań, w przypadku oznaczania:

- zawartości popiołu A^d dochodziły do 0,14%,
- ciepła spalania Q_s^d dochodziły do 251 kJ/kg,
- siarki całkowitej S_t^d dochodziły do 0,04%,
- zawartości pierwiastka węgla C_t^d dochodziły do 2,42%.

Wskaźniki z dla wszystkich laboratoriów znajdowały się na poziomie zadowalającym ($|z| \leq 2$).

Przeprowadzona pierwsza edycja międzynarodowych badań porównawczych spotkała się z dużym zainteresowaniem wśród laboratoriów współpracujących z Zakładem Oceny Jakości Paliw Stałych Głównego Instytut Górnictwa oraz zagranicznych uczestników. Planuje się przeprowadzenie kolejnej edycji takich badań.

Literatura

1. PN-EN ISO/IEC 17025:2005 Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących.
2. PN-G-04502:1990 Węgiel kamienny i brunatny. Metody pobierania i przygotowania próbek do badań laboratoryjnych.
3. PN-G-04511:1980 Paliwa stałe. Oznaczenie zawartości wilgoci.
4. PN-G-04513:1981 Paliwa stałe. Oznaczenie ciepła spalania i obliczanie wartości opałowej.
5. PN-G-04560:1998 Paliwa stałe. Oznaczenie zawartości wilgoci, części lotnych oraz popiołu analizatorem automatycznym.
6. PN-G-04571:1998 Paliwa stałe. Oznaczenie zawartości węgla, wodoru i azotu automatycznymi analizatorami. Metoda makro.
7. PN-G-04584:2001 Paliwa stałe. Oznaczenie zawartości siarki całkowitej i popiołowej automatycznymi analizatorami.
8. PN-ISO 1171:2002 Paliwa stałe. Oznaczenie popiołu.
9. PN-ISO 334:1997 Paliwa stałe. Oznaczenie siarki całkowitej. Metoda Eschki.
10. Przewodnik ISO/IEC 35 (1989): Certyfikacja materiałów odniesienia. Zasady ogólne i analiza statystyczna.

11. Przewodnik ISO/IEC 43-1 (1997): Badania biegłości poprzez porównania międzylaboratoryjne. Część I: Projektowanie i realizacja programów badania biegłości.
12. Rozporządzenie (2008): Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 12 września 2008 r. w sprawie sposobu monitorowania wielkości emisji substancji objętych wspólnotowym systemem handlu uprawnieniami do emisji. Dz. U. 2008 nr 183, poz. 1142.
13. Róg L., Wawrzyńkiewicz W., Hamala K., Rompalski P., Solik M. (2008): Wyznaczanie dokładności pobierania i przygotowania próbek analitycznych biopaliwa i stałych paliw wtórnych. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko nr 3.
14. Volk W. (1973): Statystyka stosowana dla inżynierów. Warszawa, Wydaw. Naukowo-Techniczne.

Recenzent: mgr inż. Elżbieta Gruszka