

WCZESNE WYKRYWANIE POŻARÓW JAKO ELEMENT MONITORINGU SKŁADOWISK ODPADÓW POWĘGLOWYCH

EARLY FIRE DETECTION AS A PART OF MINE WASTE DUMP MONITORING

Wydobycie węgla kamiennego wiąże się z produkcją odpadów. Pożary i spalanie składowisk odpadów stanowią wciąż duży problem, zwłaszcza w starych zagłębiach węglowych. W artykule opisano skrótowo teorię spalania i związane z tym doświadczenia. Przedstawiono również użyteczne metody wczesnego ostrzegania przed spalaniem oraz nową propozycję dotyczącą monitoringu składowiska odpadów powęglowych i jego ochrony przed spalaniem.

Industrial hard coal mining extraction means waste production. Coal waste dump fires and combustion are still difficult problem, specialty in old coal regions. Briefly are presented combustion theory and experiences. In article are presented useful methods for combustion early warning and a new proposal for coal waste dump monitoring and combustion protection.

1. WPROWADZENIE

Pojawienie się dużych składowisk odpadów powęglowych jest konsekwencją realizowanego (od XIX w.) procesu uprzemysłowienia procesów wydobywania węgla kamiennego. Pierwotne metody pozyskiwania kopalin użytecznych powodowały, że w procesie wydobywania substancje balastowe, czyli tzw. skałę płonną pozostawiano bezpośrednio po procesie urabiania w wyrobiskach pod ziemią. Wytwarzane odpady z robót udostępniających nie zawierały substancji palnej – węgla i stanowiły, w skali ówczesnych kopalń niewielką objętość. Wprowadzenie uprzemysłowionych technologii wydobywania kopalin i wzrost skali wydobywania z pojedynczej kopalni spowodowało, że usuwanie substancji balastowych stało się końcowym ogniwem procesu produkcyjnego realizowanym na powierzchni. W związku z tym konieczne stało się zagospodarowanie powstającego zbędnego materiału, czyli odpadów poprodukcyjnych. W opisanych warunkach zaczęły powstawać

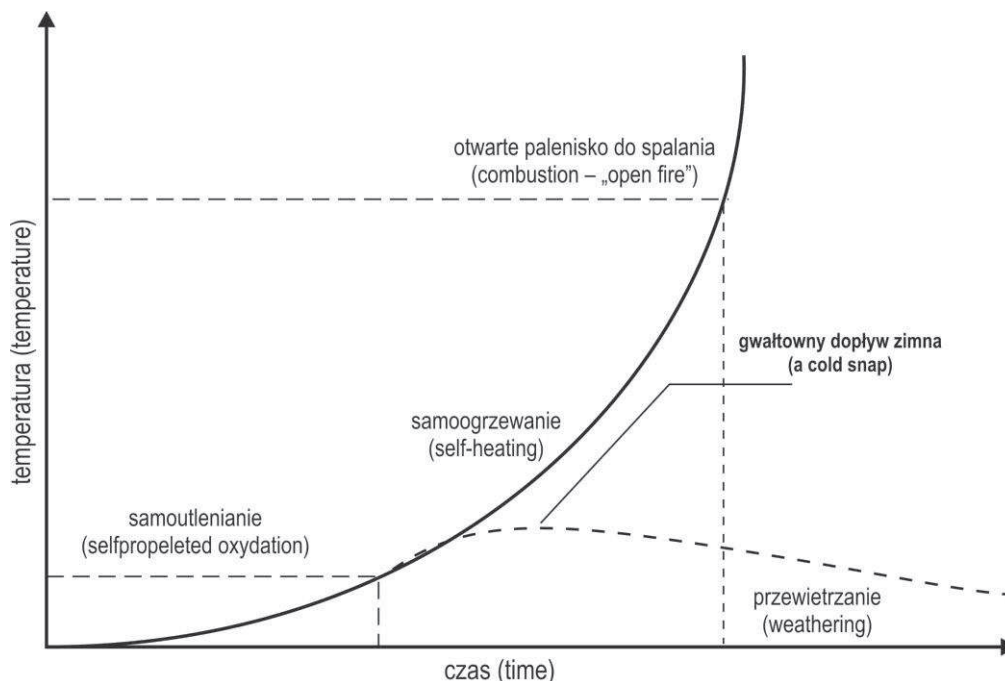
1. INTRODUCTION

The emergence of large mining waste dumps is a result of industrialization of the (hard) coal extraction processes, conducted since the 19th century. The original methods of useful minerals extraction resulted in leaving the ballast substances, the so called gangue/stent/mullock, immediately in the pit (underground) after the excavation process. The introduction of industrial extraction technologies and the increasing scale of the extraction from single mines caused the removal of the ballast substances to become the end link of the production process. This phase of the production process was then carried out on the surface and thus it became necessary to manage the postproduction wastes. The unproductive development wastes produced earlier did not contain any combustible/flammable substances, i.e. coal, and were of inconsiderable volume for the mines then. In the situation described above, mining waste dumps emerged which, at the storage technologies existing at that time and natural tendency of the material

składowiska odpadów powęglowych, które w ówczesnych technologiach składowania i przy naturalnej skłonności materiału do utleniania, samozagrzewania i kumulowania ciepła stały się miejscem występowania pożarów. Od XIX wieku do niemal końca XX wieku pożary składowisk odpadów powęglowych, tak jak same składowiska stały się trwałym elementem krajobrazu i warunków życia terenów zagłębi górniczych. Rosnąca wiedza o skutkach pożarów składowisk i uciążliwości życia w coraz bardziej zurbanizowanym sąsiedztwie spowodowała, że podjęto działania dla zbadania przyczyn i warunków rozwoju pożarów składowisk odpadów powęglowych, a także wygaszania pożarów oraz prewencji pożarowej. Zmiana warunków składowania odpadów powęglowych nawet wiele lat po ich zdeponowaniu powoduje, że wczesne wykrywanie pożarów składowisk odpadów powęglowych, obok bezpiecznych technologii składowania odpadów stają się nieodzownym działaniem na rzecz uniknięcia kryzysów o charakterze ekologicznym. Monitoring ekologiczny składowisk wszystkich odpadów, w tym odpadów z procesów wydobywania i wzbogacania węgla kamiennego, wymaga opracowania praktycznych, możliwie efektywnych, a równocześnie mało pracochłonnych metod i narzędzi wczesnego wykrywania pożaru składowisk. Oprócz prawidłowych technologii składowania, wczesne wykrywanie objawów aktywności termicznej składowiska umożliwi skuteczniejsze i wymagające mniejszych nakładów przeciwdziałanie procesowi rozwoju pożaru i ograniczenie niepożądanego oddziaływania na środowisko. Problem aktywnych termicznie składowisk odpadów powęglowych i ich oddziaływanie na środowisko nie przeszedł do przeszłości wraz ze zmianą technologii składowania. W 2005 roku na Górnym Śląsku odnotowano aktywność termiczną ponad 20 składowisk odpadów powęglowych (przy zewidencjonowanych obecnie 205 składowiskach odpadów powęglowych na terenie byłych i czynnych zagłębi węglowych), zjawiska te towarzyszą także składowiskom w innych zagłębiach węglowych na całym świecie. Tylko w sąsiedztwie czynnych kilkunastu kopalń największego obecnie producenta węgla kamiennego w Unii Europejskiej na terenie Górnego Śląska składowiska odpadów powęglowych mają objętość blisko 75 milionów m³ i zajmują powierzchnię ok. 620 ha. Zagadnienie pożarów składowisk staje się również problemem z punktu widzenia niekontrolowanej emisji CO₂ do atmosfery.

for oxidation, self heating and heat accumulation, became a permanent fire ground. From the 19th century to almost the end of the 20th century the fires of mining dump waste, as well as the dumps themselves, became an inseparable part of coal mining basins, landscape and living conditions thereof. The increasing knowledge on the effects of those fires and their negative impact on living in their more and more urbanized neighbourhood (Adameczyk et al., 1999) resulted in certain actions undertaken in favour of fire extinguishing and prevention (Korski et al., 2004, Korski et al., 2006). Some actions were also taken to explore the causes and conditions of the development of mining waste dumps fires. It was found out that the change of the mine waste storage conditions, even many years after the actual dumping, causes that the efficient tools for early mining waste dump fire detection, along with safe waste storage technologies, became the essential measures for avoiding ecological crises (Korski, 2007).

The ecological monitoring of all waste dumps, including those resulting from coal mining and cleaning processes, require to develop efficient and not very laborious methods and tools of early waste dump fire detection. Apart from proper storage technologies, early detection of waste dump thermal activity will allow more efficient and less demanding counteraction against the fire progress and will decrease the undesired environmental impact. The problem of thermally active mining waste dumps did not cease to exist with the change of storage technologies. In Upper Silesia in 2005 there was thermal activity detected in more than 20 mining waste dumps (at the total of 205 listed mining waste dumps in both active and inactive coal basins) [Gumiński et al., 2005]. This phenomenon is observed in coal basins all over the world. Only in the neighbourhood of over a dozen active mines of the biggest coal producer in the European Union in Upper Silesia (Poland), the mining waste dumps have the volume of approximately 75 mln m³ and the area of 620 ha. The problem of mining waste dumps fires is also becoming an important issue due to uncontrolled CO₂ emission.



Rys. 1. Proces spalania odpadów powęglowych
Fig. 1. Coal waste combustion process

2. CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA MOŻLIWOŚĆ POWSTANIA POŻARU SKŁADOWISKA ODPADÓW POWĘGLOWYCH

Ze względu na warunki powstania, węgiel kamienny ma genetyczną skłonność do egzogenicznego utleniania się. Proces powiązany z gromadzeniem się powstałego ciepła, który w określonych warunkach może przejść w fazę spalania powstałych w procesie pirolizy węglowodorów cyklicznych lub wprost materiału węglowego.

2.1. Przebieg procesu powstawania pożaru składowiska odpadów powęglowych

Naturalne własności materiału odpadowego powodują, że powstanie pożaru ma samoistny – endogeniczny charakter. Na podstawie licznych badań i publikacji można wskazać, że istnieje powtarzalna prawidłowość tego procesu. Proces rozwoju pożaru składa się z trzech faz:

- izotermiczne samoutrzymujące się utlenianie,
- samozagrzewanie,
- spalanie.

Proces powstawania pożaru pokazano na rys. 1.

Proces rozwoju pożaru może ulec wstrzymaniu wskutek ochłodzenia zagrzewającego się materiału. Ochłodzenie może mieć przyczyny naturalne lub antropogeniczne.

2. FACTORS IMPACTING THE POSSIBILITY OF A MINING WASTE DUMP FIRE

Due to the conditions of its origin, hard coal has genetic predisposition for self-propelled endogenous oxidation (Cebulak et al., 2005) in a process connected with the accumulation of resultant heat which, in specific conditions, can progress to the combustion of cyclic hydrocarbons resulting from thermal decomposition of coal, or the coal material itself.

2.1. The process of the emergence of a mining waste dump fire

Due to the natural properties of the waste material, the emergence of a fire is of autonomous and endogenous character. Based on numerous studies and publications (Maciejasz et al., 1977, Strumiński, 1996)) it can be demonstrated that the repeatable regularity exists. The process of fire emergence consists of three phases:

- self-propelled isothermal oxidation,
- self heating,
- combustion.

The coal waste combustion process is shown in figure 1.

The process can be stopped by cooling of the self heating material. The cooling can be of natural or anthropogenic reasons.



Rys. 2. Warunki konieczne do samozapalenia składowiska odpadów
 Fig. 2. Necessary conditions for waste dump self combustion

Prowadzone od wielu lat badania nad procesami samozapalenia węgla kopalnych doprowadziły do powstania kilku teorii objaśniających przyczyny i przebieg tego procesu, wśród nich najbardziej rozpowszechnione to:

- teoria pirytowa,
- teoria bakteryjna,
- fenolowa,
- teorie kompleksu tlen-węgiel.

Od wielu lat uznaje się za najbardziej prawdopodobną teorię kompleksu tlen-węgiel jako najbardziej prawdopodobną. W początkowej fazie izotermicznego samoutrzymującego utleniania się materiału nawet niewielki wzrost ilości ciepła wskutek procesów rozkładu pirytu i procesów biologicznych może zwiększyć prawdopodobieństwo zapoczątkowania procesu akumulacji ciepła oraz przejście w fazę samozagrzewania.

2.2. Warunki konieczne powstania i rozwoju składowiska odpadów powęglowych

Prowadzone od wielu lat badania nad procesami samozapalenia węgla kopalnych wskazują na konieczność łącznego wystąpienia kilku warunków koniecznych (rys. 2), aby doszło do pełnego rozwoju pożaru składowiska odpadów powęglowych.

Warunki konieczne wydają się oczywiste i wynikają one z analizy przebiegu procesu utleniania i samozagrzewania węgla.

2.3. Czynniki zwiększające prawdopodobieństwo wystąpienia pożaru składowiska odpadów powęglowych

Wśród czynników zwiększających prawdopodobieństwo wystąpienia pożaru składowiska odpadów powęglowych można wskazać jako podstawowe:

Studies on coal self heating processes that have been conducted for many years resulted in a few theories explaining the causes and course of this process. The most recognized are the following:

- pyrite theory,
- bacterial theory,
- carboic acid (phenol) theory,
- oxygen-carbon group theories.

For many years the carbon-oxygen group theory has been acknowledged as the most probable (Różański, 2002). However, in the earliest phase of self-propelled isothermal oxidation of the waste material even small increase of heat amount, resultant from pyrite decomposition and biological processes, can increase the probability of the heat accumulation process onset and progress to the self heating phase.

2.2 Conditions necessary for the emergence and development of a mining waste dump fire

The studies conducted on coal self ignition processes point out the necessity of combined occurrence of a few obligatory conditions for a mining waste dump fire to develop (Fig. 2). The necessary conditions, resulting from the analysis of coal oxidations and self heating processes, seem to be obvious.

2.3. Factors increasing the probability of emergence of a mining waste dump fire

Among the factors increasing the probability of the emergence of a mining waste dump fire there are several which can be pointed out as the basic ones:

- zawartość węgla w odpadach;
- technologia składowania;
- obecność innych palnych materiałów w odpadach.
- obecność innych (niewęglowych) materiałów hamujących procesy samozagrzewania.
- kształt i wielkość składowiska odpadów.
- procesy geodynamiczne (geologiczne) zachodzące w składowisku,
- działalność naturalnych sił przyrody.

We współczesnych technologiach składowania odpadów powęglowych uwzględnia się już na etapie projektu technicznego czynniki zmniejszające prawdopodobieństwo wystąpienia endogenicznego pożaru składowiska. Jednak występujące wciąż pożary składowisk odpadów powęglowych wskazują na niepełne rozpoznanie wszystkich przyczyn i warunków rozwoju pożarów składowisk odpadów powęglowych.

3. PROSTE METODY OCENY STANU TERMICZNEGO SKŁADOWISKA ODPADÓW POWĘGLOWYCH

Znaczna objętość i powierzchnia współczesnych składowisk odpadów powęglowych powoduje, że dostępne obecnie pracochłonne i punktowe metody badania stanu termicznego i składu gazów w bryle składowiska nie pozwalają na monitorowanie w sposób ciągły przebiegu procesów termicznych w składowisku. Istnieją jednak zgrubne metody wykrywania zmian świadczących o zachodzących procesach inkubacji pożaru, których stwierdzenie pozwala na zastosowanie metod szczegółowych i podjęcie, w miarę potrzeby działań prewencyjnych. Prostą metodą jest analiza zmian stanu powierzchni składowiska i pomiary termowizyjne.

3.1. Obserwacja zmian pokrywy składowiska

W warunkach umiarkowanego klimatu Polski istnieje możliwość stwierdzenia inkubacji pożaru w składowisku poprzez obserwację stanu pokrywy śnieżnej (zimą) lub zmian stanu roślinności na powierzchni składowiska (w sezonie wegetacyjnym). Istnienie wytopisk śniegu w jednolitej pokrywie śnieżnej jest jednoznacznym sygnałem o występującym w sąsiedztwie ogniska samozagrzewania się składowanych odpadów (rys. 3).

Występowanie miejsc topnienia śniegu powinno prowadzić do bezzwłocznego przeprowadzenia punktowych, wgłębnych pomiarów temperatury i składu gazów w bryle składowiska.

- coal content in the waste;
- storage technology;
- presence of other combustible materials in the waste;
- presence of other materials (not resulting from mining) hindering the self heating processes;
- waste dump size and shape;
- geodynamical (geological) processes occurring in the waste dump;
- activities of animals and plants.

In modern mining waste storage technologies the factors decreasing the probability of endogenous fires are taken into account at the technical design stage. However, the fact that mining waste dump fires still occur results from incomplete knowledge about the causes and conditions of the mining waste dump fires development.

3. SIMPLE METHODS TO EVALUATE THE THERMAL STATE OF A MINE WASTE DUMP

Significant volume and area of modern mining waste dumps cause that the currently available laborious and point-wise methods of thermal state and gas composition inspection inside the dump do not allow to monitor thermal processes therein in a continuous manner (Korski et al., 2004). However, there are rough methods to detect changes which give evidence about the fire incubation process. The detection of those changes allows to apply detailed methods and to undertake appropriate measures. The analysis of surface state changes and thermo-visual measurements are some of the above mentioned methods.

3.1. Observation of the changes of the dump surface

In the moderate climate conditions of Poland there is a possibility to detect the onset of a fire in the waste dump through the observation of the snow cover (in winter) or the changes of vegetation on the surface of the dump (in the vegetation season). The existence of meltdowns in the uniform snow cover on the surface of the dump is a sure sign of self-heating of the wastes (Fig. 3). The occurrence of meltdowns should lead to immediate point-wise temperature measurements and a gas composition analysis inside the dump.



Rys. 3. Miejsca topnienia śniegu na składowisku
Fig. 3. Snow meltdowns on a waste dump hillside

Obserwacja i lokalizowanie zmian szaty roślinnej składowiska wymaga uwzględnienia faktu, iż w pierwszej fazie samozagrzewania obecność niektórych związków chemicznych i nieznacznie podwyższonej temperatury w sąsiedztwie miejsc inkubacji może poprawiać warunki wegetacji. Stąd punktowy rozwój roślinności może być sygnałem przebiegającego procesu inkubacji pożaru. W miarę rozwoju procesu samozagrzewania i pożaru materiału składowiska pojawiają się temperatury i związki chemiczne spowalniające lub uniemożliwiające wegetację roślinności. W miarę rozwoju procesu materiał roślinny może stanowić paliwo dla procesu palenia się na powierzchni i bryle składowiska.

Regularne obchody składowisk i obserwacja zmian mogą pozwolić na podjęcie działań prewencyjnych i przerwanie w ten sposób procesu samozagrzewania lub pożaru w początkowej fazie jego rozwoju (Korski, 2007).

3.2. Obserwacja termowizyjna

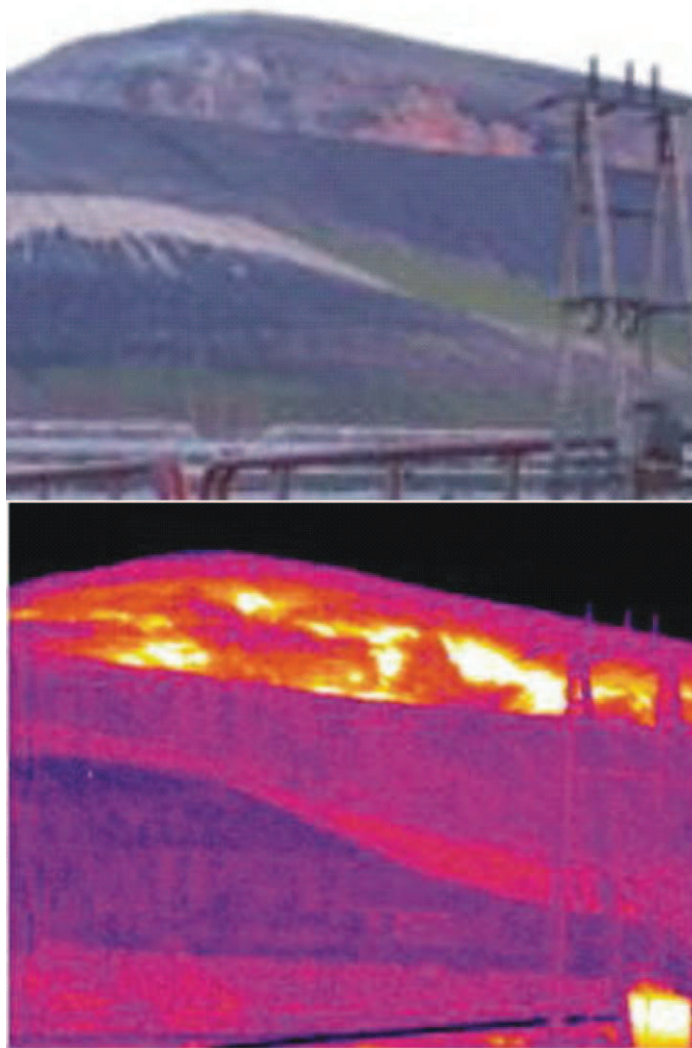
Obserwacja bryły składowiska w świetle widzialnym pozwala, przy pewnym przygotowaniu obserwatora, dostrzec zmiany świadczące o toczących się procesach termicznych. Dla występowania dostrzegalnych zmian morfologicznych potrzebne jest jednak znaczne zaawansowanie procesu, a w konsekwencji zbyt późna reakcja. Jak wiadomo każde ciało o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego emituje promieniowanie w paśmie podczerwieni, a jego intensywność zależy od temperatury i cech powierzchni ciała. Aparatura

Observing and locating the changes of vegetation on the dump requires to take into account that some chemical substances present in the first phase of self-heating of the waste could actually improve the vegetation conditions in the close neighbourhood of the fire incubation spots. Thus vegetation can be an indicator of the fire incubation process. As the process progresses, the floral material may become the fuel for combustion on the outside and inside of the dump.

Systematic inspections of the dump together with the observation of changes allow to undertake proper preventive actions and to stop the self-heating process or fire in the initial phase (Korski, 2007).

3.2. Thermo-visual observations

The observation of the dump body at daylight allows a prepared observer to notice the symptoms of ongoing thermal processes. However, for noticeable morphological changes a significant advance of the process is required, resulting in late reaction. It is known that every body of temperature higher than absolute zero emits infrared radiations, the intensity of which depends on the temperature and surface properties of this body. The thermo-visual apparatus is basically a type of a television device, sensitive to



Rys. 4. Obraz składowiska odpadów powęglowych Skalny w Łaziskach Górnych (Górny Śląsk, Polska) w paśmie widzialnym i wykonany kamerą termowizyjną
Fig. 4. Images of the "Skalny" mining waste dump (Łaziska Gorne, Upper Silesia, Poland) in visible light and in thermo-vision

termowizyjna jest odmianą telewizji wrażliwej na fragment zakresu promieniowania podczerwonego. Tworzenie obrazu polega na rejestracji przez kamerę promieniowania emitowanego przez obserwowany obiekt, a następnie przetworzeniu na kolorową mapę temperatur (rys. 4). System termowizyjny jest więc rodzajem niezwykłego termometru, który pozwala, w przypadku składowiska odpadów powęglowych mierzyć temperaturę na odległość w wielu miejscach jednocześnie. Zastosowanie termowizji do kontroli stanu termicznego powierzchni składowiska umożliwia zgrubną analizę temperatury, a przede wszystkim różnic z dokładnością wyższą niż obserwacja w świetle widzialnym.

Obserwacja termowizyjna nie jest jednak pozbawiona wad wpływających na wyniki obserwacji. Eksponowane na słońce zbocza nagrzewają się różnie, w zależności o barwy materiału, rozwoju

a part of infrared radiation. The preparation of a thermo-visual image consists of recording the radiation emitted by the observed object with the use of a special camera and then processing the data to obtain a colour temperature map (Fig. 4.). Thus, the thermo-visual apparatus is a type of an unusual thermometer allowing, in the case of a mining waste dump, simultaneous temperature measurements in many spots from a distance. The application of thermo-vision for thermal state control of the dump surface enables rough temperature analysis and, first of all, observation of differences with the precision higher than that involving only eyesight at daylight.

There are a number of factors with negative impact on the results of thermo-visual observations. A sunny hillside gets heated differently depending on the colour of the waste material and the level of vegetation

Tabela 1/Table 1

Objawy rozwoju pożaru endogenicznego składowiska odpadów powęglowych
Symptoms of the mining waste dump fire progress

FAZA PHASE	TEMPERATURA (PRZYBLIŻONA)	OBJAWY
IZOTERMICZNE SAMOPRZYŚPIESZAJĄCE UTLENIANIE SELF-PROPELLED ISOTHERMAL OXIDATION	>35°C	Spadek zawartości tlenu / Drop of oxygen content
	>45°C	Wzrost zawartości CO ₂ / Increase of CO ₂ content
	>55°C	Pojawienie się CO / Emergence of CO
	>70°C	Wzrost zawartości CO / Increase of CO content
	80°C	„Pocenie się” materiału / Material “sweating”
	110°C	Pojawienie się metanu i etanu / Emergence of methane and ethane
	120°C	Pojawienie się wodoru / Emergence of hydrogen
	130°C	Lekki smród / Moderate stink
SAMOZAGRZEWANIE SELF-HEATING	150°C	Pojawienie się etylenu / Emergence of ethylene
	>150°C	Wzrost temperatury / Temperature increase
	200°C	Mgła-lekkie parowanie / Fog – moderate evaporation
	200-250°C	Silny zapach paliwa silnikowego / Strong smell of engine fuel
	>250°C	Uwalnianie wyższych węglowodorów / Release of higher hydrocarbons
SAMOZAPALENIE COMBUSTION	>300°C	Jasnoszary dym / Light-grey smoke
	>370°C	Mocny smolisty zapach (smród) / Strong tar-like smell (stink)
	430-450°C	Ciemny dym / Black smoke
	550-600°C	Otwarty ogień / Open fire

szaty roślinnej. Procesy parowania wody oraz, w przypadku toczących się już procesów pożarowych, produktów temperaturowego rozkładu węgla (pirolizy) powodują występowanie miejsc o niższej niż sąsiednie temperaturze powierzchni. Ze względu na konieczne warunki kontynuacji procesu samozagrzewania powierzchnia składowiska odpadów powęglowych nie jest najkorzystniejszym miejscem rozwoju tego procesu. Najlepszą porą na wykonywanie zdjęć termowizyjnych składowiska jest okres tuż przed wschodem słońca po kilku co najmniej dniach bez opadów. Metodę termowizyjną można zalecić jako zgrubną metodę monitoringu termicznego składowisk odpadów powęglowych uszczegółowianą precyzyjnym pomiarami punktowymi w rejonach występujących kontrastów termicznych.

4. METODY POMIAROWE OCENY STANU TERMICZNEGO SKŁADOWISKA ODPA DÓW POWĘGLOWYCH

Na podstawie opublikowanych badań i literatury opracowano zestawienie obserwowalnych i mierzalnych w sposób prosty objawów rozwoju pożaru w składowisku odpadów powęglowych, przedstawione w tabeli 1.

on the surface. The evaporation of water and, in the case of the ongoing self combustion process, the products of thermal decomposition cause the presence of spots with lower surface temperature than the adjoining area. Due to the conditions necessary for the progress of self-heating of the waste material, the surface of the dump is not the most optimal place for this process to develop.

The most optimal time to take thermo-visual images of the dump is just before dawn after a few days without rain. The thermo-visual observation is suggested as a rough method of mining waste dump monitoring that can be made more precise with point-wise measurements in the areas of increased thermal activity.

4. MEASUREMENT METHODS FOR EVALUATING THE THERMAL STATE OF A MINING WASTE DUMP

Based on available studies and literature, a list of easily observable and measurable effects of the mining waste dump fire progress has been prepared, shown in Table 1.

Tabela 2/Table 2

Wskaźnika Grahama a stan zagrożenia pożarowego w składowiska odpadów powęglowych
Correlation between Graham's coefficient and mining waste dump fire hazard

Wskaźnik Grahama G / Graham's coefficient G	Ocena stanu / Situation assessment
$0 < G \leq 0,0025$	Sytuacja normalna — nie występuje zagrożenie pożarowe w miejscu pomiaru Normal situation – no fire hazard in the measurement spot
$0,0025 < G \leq 0,0070$	Należy wzmóc częstotliwość pomiarów Measurements should be taken more frequently
$0,0070 < G \leq 0,0300$	Duże zagrożenie pożarowe Significant fire hazard.
$G > 0,0300$	Pożar w pobliżu miejsca pomiaru Fire near the measurement spot

Na podstawie tabeli można stwierdzić, że oprócz wiedzy i zmysłów ludzi dokonujących obchodów składowiska konieczne są pomiary temperatury na powierzchni i wewnątrz składowiska oraz badania składu gazów w składowisku ze szczególnym uwzględnieniem O_2 , CO_2 i CO .

4.1. Punktowe pomiary temperatury powierzchni i wnętrza składowiska

Punktowe pomiary temperatury w składowisku mogą być realizowane za pomocą elektronicznych termometrów wyposażonych w sondę. Charakter materiału odpadowego i wytrzymałość sond pomiarowych uniemożliwia w zasadzie pomiar temperatury tą metodą na głębokościach większych od 1,2-1,5 m. Zastosowanie pirometrów pozwala na pomiary temperatury powierzchni składowiska z koniecznością uwzględnienia wpływu parowania, nasłonecznienia i fizyko-temicznych właściwości materiału odpadowego.

4.2. Badania składu gazów w bryle składowiska

Analiza składu gazów w bryle składowiska odpadów powęglowych pozwala na ocenę stanu aktywności termicznej tego składowiska. Na podstawie badań stwierdzono, że pierwszymi objawami samo-przyspieszającego się utleniania materiału powęglowego są kolejno:

- obniżenie zawartości tlenu,
- wzrost zawartości ditlenku węgla (CO_2),
- pojawienie się tlenku węgla.

Prostą metodą oceny stopnia zagrożenia pożarowego jest wykorzystanie tak zwanego wskaźnika Grahama obliczanego ze wzoru:

$$G = \frac{CO}{(0,265 N_2 - O_2)} \quad (1)$$

gdzie: CO , N_2 , O_2 – procentowe zawartości tlenku węgla, azotu i tlenu

Based on this table, it can be stated that, apart from the knowledge and senses of people making the inspections, it is necessary to perform the measurements of the dump surface and body as well as a gas composition analysis (particularly oxygen, carbon monoxide and carbon oxide).

4.1. Point-wise temperature measurements of the body and surface of a mining waste dump

Point-wise dump temperature measurements can be conducted by means of electronic probe-equipped thermometers. The properties of the waste material and the durability of the probes enable to take the measurements deeper than 1.2-1.5 meters from the surface. The use of pyrometers (remote punctual thermometers) enables the surface temperature measurements, however, it is necessary to take into account the influence of vaporization, insulation and thermal properties of the waste material.

4.2 Gas composition analysis in the body of the dump

The analysis of the gas composition inside the mining waste dump enables to estimate the thermal activity level therein. Based on the research, it has been found out that the first symptoms of the self-propelled isothermal oxidation of the mining waste material are the following (in order of appearance):

- decrease of oxygen concentration,
- increase of carbon dioxide levels,
- occurrence of carbon monoxide.

A simple method of fire hazard evaluation is the use of the so called Graham's coefficient, used in the mining practice to estimate the self-heating of coal, calculated according to formula (1).

$$G = \frac{CO}{(0,265 N_2 - O_2)} \quad (1)$$

where: CO , N_2 , O_2 – concentration of, respectively, carbon monoxide, nitrogen and oxygen [%].



Rys. 5. Pomiar temperatury i CO₂ za pomocą sond wbijanych na składowisku odpadów powęglowych „Waleska” (Łaziska Górne, Górny Śląsk)

Fig. 5. Temperature and CO₂ measurements with the use of insertion probes at the “Waleska” mining waste dump (Łaziska Gorne, Upper Silesia, Poland)

Zawartość azotu wyznacza się jako dopełnienie składników powietrza do 100% obj., stosując wzór:

$$N_2 = 100 - (O_2 + CO_2 + CO + CH_4) [\%] \quad (2)$$

Na podstawie wielkości wskaźnika Grahama można ocenić stan zagrożenia pożarem w miejscu pomiaru lub jego sąsiedztwie, co pokazano w tabeli 2.

Obecność innych gazów takich jak: wodór, etylen, acetylen czy wyższe węglowodory wskazuje na znaczne zaawansowanie zjawisk pożarowych i w praktyce utratę kontroli nad przebiegiem procesu. Pomiaru składu gazów w bryle składowiska dokonuje się przy pomocy przyrządów umożliwiających bezpośredni odczyt stężeń tych gazów lub przez pobieranie prób i laboratoryjną analizę składu atmosfery w miejscu pobrania próby. Druga z tych metod stosowana jest przeważnie w sytuacjach stwierdzenia niepożądanych zmian na składowisku. W praktyce stosuje się pobieranie prób powietrza za pomocą sond wbijanych w bryłę składowiska (rys. 5).

Punktowe pomiary temperatury i składu gazów w składowisku są metodą pracochłonną wymagającą wielkiej staranności wykonywania tych pomiarów; ponadto obarczone są błędem wynikającym z początkowych rozmiarów ognisk samozagrzewania i powtarzalności wyboru miejsc pomiarów.

The content of nitrogen is calculated as a 100% complement to the volume of air, following formula (2).

$$N_2 = 100 - (O_2 + CO_2 + CO + CH_4) [\%] \quad (2)$$

Based on the Graham's coefficient value, the level of fire hazard in the measurement spot or in its direct neighbourhood can be estimated, as shown in Table 2.

The presence of other gases, like hydrogen, ethylene, ethane (acetylene) or higher hydrocarbons points to considerably advanced combustion, which in practice means the loss of control over the process. The gas composition in the body of the dump is performed either with the use of devices immediately presenting the results of the measurements or by means of a laboratory analysis of the taken samples. The latter method is mainly used when undesired changes in the dump have been detected.

Practically, direct measurements, involving taking air samples from the dump body, are used (Fig. 5). The point-wise gas analysis and temperature measurements of the dump are laborious methods and require to be applied very thoroughly. Moreover, they are influenced by errors resulting from the initial size of self-heating spots and repeatability of measurement spots.

5. ZASTOSOWANIA NOWOCZESNYCH TECHNOLOGII W BADANIACH AEROLOGICZNYCH I AKTYWNOŚCI TERMICZNEJ SKŁADOWISK (WASILEWSKI 2009)

Termowizja w rejestracji środowiska i obrazowaniu terenu z pułapu lotniczego

Rozwój systemów zbierania danych z bezprzewodową transmisją danych powoduje, że znajdują one coraz więcej zastosowań praktycznych. Rozwiązania naziemne są dziś niemal powszechne, jednak dla celów badań rozległego obszaru składowiska zaproponowano nowatorskie rozwiązanie systemu UAV zbierania danych i obrazowania termicznego przez obserwacje lotnicze z wykorzystaniem samolotów bezzałogowych. Systemy UAV znane są w zastosowaniach militarnych już z czasów I wojny światowej i w tym zakresie przechodzą stały rozwój. Bezzałogowy minisamolot przeznaczony jest do przekazywania na ziemię obrazu w czasie rzeczywistym oraz wykonywania zdjęć z powietrza. Coraz częściej znajdują one zastosowania cywilne w służbach granicznych, w policji, w służbach do walki z klęskami żywiołowymi (pożary lasów, powodzie) w inspekcji dróg, linii przesyłowych, rurociągów itp. Prace nad samolotami bezzałogowymi krajowej produkcji zostały już podjęte i są wykorzystywane również do celów cywilnych. Pierwsze prace – również w ramach projektów badawczych – były już podejmowane przez ośrodki akademickie cywilne i wojskowe.

Zarejestrowane termogramy na pokładzie samolotu mogą być rejestrowane w postaci cyfrowej i gromadzone w pamięci komputera lub przesyłane do stacji naziemnej drogą radiową. Pozyskany termalny obraz rastrowy bywa zaszumiany, stąd wymaga wstępnej analizy i selekcji termogramów oraz filtracji, a także skalowania. Wykorzystanie tej metody wymaga specjalistycznego oprogramowania dla zbierania i przetwarzania danych w czasie rzeczywistym oraz doświadczenia w zakresie analizy i rozpoznawania obrazów.

Zastosowanie obrazowania terenu z pułapu lotniczego ma kapitalne znaczenie dla czasu niezbędnego do wykonywania zdjęć aktywności termicznej rozległych składowisk odpadów. Nie bez znaczenia jest fakt ochrony próbnobiorców przed zagrożeniami wynikającymi z możliwości kontaktu z podwyższoną temperaturą powierzchni składowiska czy gazami pożarowymi.

Stacje pomiarowe i systemu akwizycji danych

W oparciu o rozpoznanie termiczne na terenie wytypowanego obszaru wykazującego aktywność termiczną wyznacza się poligon doświadczalny, który służy do pozyskania danych terenowych, charaktery-

5. APPLICATION OF MODERN TECHNOLOGIES IN AEROLOGIC DUMP THERMAL ACTIVITY EXAMINATIONS (WASILEWSKI 2009)

Thermovision in environment monitoring and aerial imaging

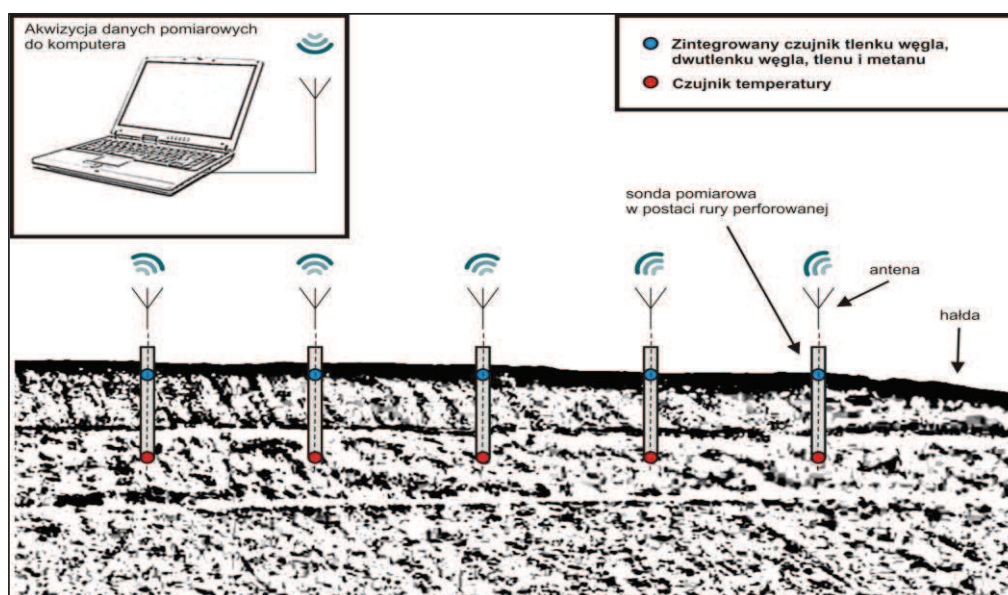
The evolution of wireless data acquisition systems results in more and more practical applications. Although wired solutions are common, for the purpose of vast dump area monitoring an innovative unmanned air vehicle (UAV) system was proposed, involving data acquisition and thermal imaging obtained by aerial observations. Military applications of UAV systems have been known since World War I and are under constant development. An unmanned mini aircraft is used for real-time image transmissions and aerial photography. The civil use of UAV systems ranges from police and border guard applications, through environmental disasters (forest fires, floods) control services, to inspection of transmission lines, pipelines and roads. Works over domestic (Polish) production of unmanned air vehicles have already begun and have been used for civil applications. The first studies involving the use of UAV systems have also been carried out by both military and civil academic centres.

The acquired thermograms can be either stored digitally in computer memory onboard the UAV or radio transmitted to ground stations. The acquired thermal images happen to be noisy, therefore requiring preliminary analysis and selection, along with filtering and scaling/graduation. The use of this method requires technical software for real-time data acquisition and processing, as well as experience with image analysis and recognition.

The application of aerial imaging is of great importance for the time necessary to take thermal activity images of vast mining waste dumps. Moreover, the decreased hazard from high temperature and combustion gases to people taking samples cannot be overlooked.

Measuring stations and data acquisition stations

Basing on thermal reconnaissance, a test ground in the appointed thermally active area should be designated. This test ground will serve for acquisition of terrain data, characteristic of the proceeding combustion pro-



Rys. 6. Schemat systemu zbierania danych o aktywności termicznej na haldzie
 Fig. 6. The outline of a mining waste dump thermal activity data acquisition system

stycznych dla zachodzących zjawisk pożarowych. Pozyskane dane rzeczywiste będą podstawą do opracowania modelu matematycznego do prognozowania wystąpienia i rozprzestrzeniania się pożarów na terenach lokowania odpadów powęglowych. W ramach projektu przewiduje się badania poligonowe na składowisku odpadów z wykorzystaniem bezprzewodowego systemu zbierania danych z rozproszonych otworów pomiarowych, wykonanych z rur perforowanych ($\Phi 100$) i wyposażonych w sondy z czujnikami temperatury i gazów (CO , CO_2 , O_2), które będą zanurzone w rurach. Rury będą zaślepiene od góry pokrywą zabezpieczającą urządzenia kontrolno-pomiarowe, tj. czujniki oraz sterownik z bateryjnym zasilaczem i układem nadawczo-odbiorczym sieci bezprzewodowej w technologii WLAN. Każdy punkt pomiarowy będzie kontaktować się bezprzewodowo z mobilną stacją akwizycji danych wyposażoną w interfejs transmisyjny radiowej.

Zbieranie danych odbywa się w technologii bezprzewodowej (WLAN). Mobilna stacja pomiarowa dla bezprzewodowego zbierania i akwizycji danych pomiarowych okresowo odczytuje dane z sond pomiarowych.

Symulacje komputerowe zjawisk aerologicznych wokół zwałowiska

W modelu zjawiska przyjmuje się, że utlenianie materiału palnego zgromadzonego na zwałowisku podwyższa jego temperaturę, która kumulując się wewnątrz tworzy ogniska pożarowe. Te ogniska rozwijają się, wykorzystując tlen znajdujący się w powietrzu w porach lub makroporach materiału nasypowego. Dodatkowo źródła samozagrzewania są zasilane

proces. The acquired data will be the basis for a mathematical model of mining waste dump fire occurrence and proceeding prognosis. Within the scope of the project, mentioned at the end of this article, field tests will be performed with the use of a wireless data acquisition system. The system will consist of

a number of distributed perforated pipes, inserted into the body of the dump, equipped with temperature and gas (CO , CO_2 , O_2) sensors (Fig. 6). The pipes will be blinded to protect the measuring and control equipment, that is sensors and controllers with battery power supply and wireless transceivers in the WLAN technology. Each measuring point will communicate with the mobile data acquisition station, equipped with a wireless WLAN interface, which will acquire data from the probes periodically. The data will be processed later to prepare computer models and simulations.

Computer simulations of aerological phenomena around the waste dump

In the model of mining waste dump fires it is assumed that the oxidation of combustible material stored in the dump increases its temperature. The generated heat cumulates inside the dump, creating fire centres. These centres develop by using oxygen from the air left in pores and macropores of the stored waste material. Additionally, the fire centres are supplied with

z zewnątrz powietrzem w wyniku jego przenikania przez spękania na powierzchni zwałowiska oraz kanały utworzone przez strumienie wody po deszczu.

Należy jednak pamiętać, że mechanizm procesów termicznych i aerologicznych jest niezwykle złożony. Do przeprowadzenia pełnej analizy procesu należy dysponować większą liczbą danych pomiarowych, aerologicznych i termicznych, które uzupełnione symulacją komputerową mogą pozwolić na skuteczny sposób opisania, a docelowo zwalczania ognisk pożarowych. Miejsce występowania ogniska pożarowego, jego temperatura oraz kierunek propagacji wewnątrz zwałowiska są uwarunkowane wieloma czynnikami natury aerologicznej oraz geologicznej i petrograficznej.

Komputerowe symulacje wykonane w oparciu o modele przestrzenne zwałowisk pozwolą na wyznaczenie rozkładu ciśnień na powierzchni zwałowiska, a zatem wskazanie miejsc szczególnie narażonych na wnikanie powietrza do zwałowiska. Numeryczne modelowanie przepływu powietrza wokół zwałowiska odpadów pogórnictwa (Skotniczny, 2005) pokazały rozkłady ciśnień na powierzchni zwałowiska, rozkłady prędkości i intensywności turbulencji w otoczeniu zwałowiska ze wskazaniem na miejsca prawdopodobnej migracji powietrza do wewnątrz zwałowiska. Analizy ograniczały się do przypadków stacjonarnego przepływu powietrza wokół zwałowiska odpadów. Chcąc uzyskać dokładniejsze rozwiązania konieczne było (Skotniczny, 2006) zastosowanie analizy niestacjonarnej, która pozwala na wyznaczenie rozkładu parametrów powietrza przepływającego wokół i wewnątrz zwałowiska w funkcji czasu. Ten aspekt może być również podjęty w projekcie do weryfikacji rozwiązań modelowych z wykorzystaniem danych rejestrowanych w dłuższym przedziale czasu i dla zmiennych warunków otoczenia.

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Z punktu widzenia ochrony środowiska i w zgodzie z racjonalnym prowadzeniem procesów gospodarczych wytwarzanie odpadów jest działaniem niecelowym. Z takiego punktu widzenia należy dążyć do ograniczenia ilości wytwarzanych odpadów i dążenia do ich gospodarczego wykorzystania. Niestety, z różnych przyczyn, nie zawsze jest to możliwe. Składowiska odpadów, w tym odpadów powęglowych, nie są obojętne dla środowiska. Należy zatem dążyć do minimalizowania wpływu składowisk odpadów na otoczenie. Występująca aktywność termiczna, powstałych w różnym czasie, składowisk odpadów powęglowych w wielu krajach świata jest źródłem uciążliwości i zagrożeń dla ludzi i środowis-

fresh air penetration into the dump through the cracks of the dump surface and canals washed out by rain or melting snow.

One should remember, though, that the mechanisms of aerological and thermal processes are extremely complex. To perform a complete analysis of the fire development process, a larger number of both types of measurement data are needed. These data, supplemented by computer simulations, allow effective description of the emergence of fire and thus, methods of counteraction. The area in which the fire centre occurs, its temperature and direction of propagation inside the dump are conditioned by many factors of petrographical, geological and aerological nature.

Computer simulations, based on spatial models of the dump, will allow to calculate air pressure distribution around the dump, indicating the places particularly subjected to air penetrations. Numerical modelling of the air flow around the mining waste dump (Skotniczny, 2005) showed the distribution of air pressure on the surface of the dump and air turbulence intensity, indicating the placement of a probable into-the-dump air migration duct. The analysis was restricted to the cases of static air flow around the dump. To achieve more precise results, it was necessary to apply a non-stationary analysis (Skotniczny, 2006). The non-stationary analysis allowed to calculate the parameters of air flow distribution as a function of time. The problem of air flow distribution can also be included in the project mentioned at the end of the article.

6. SUMMARY AND CONCLUSIONS

From the environmental point of view, and in accordance with the rational conduct of the production process, the generation of waste is a pointless operation. Thus, it is necessary to reduce the amount of generated waste and to try to use it for industrial purposes. Unfortunately, due to different reasons, the achievement of these objectives is not always possible. Waste dumps, including mining waste dumps, are not environmentally neutral. Therefore, the negative impact on nature should be minimized. The occurring thermal activity of dumps, which were established in different times, in many countries all over the world, is a source of hazards for people and natu-

ka naturalnego. Pojawianie się pożarów starych, często zapomnianych, składowisk odpadów powęglowych wskazuje, że należy opracować zdalne metody pomiaru i sygnalizowania zmiany stanu termicznego składowiska. Trudności techniczne oraz duża pracochłonność istniejących metod monitoringu pożarowego składowisk odpadów powęglowych, wysokie wymagania stawiane wykonawcom oraz wysokie koszty stwarzają niebezpieczeństwo, że składowisko, po okresie względnego spokoju, przestanie być monitorowane. Procesy naturalne i antropogeniczne mogą prowadzić po wielu latach spokoju do wystąpienia procesów samozagrzewania materiału zgromadzonego w składowisku i powstania pożaru. Z tych powodów wydaje się koniecznym opracowanie metod zdalnej, automatycznej kontroli składowisk w celu wczesnego wykrywania samozagrzewania.

Stały nadzór nad składowiskami odpadów powęglowych daje jedyną szansę na szybką i skuteczną interwencję w przypadku stwierdzenia pierwszych objawów samozagrzewania obiektu. Brak natychmiastowej reakcji powoduje nasilenie się tych zjawisk i w konsekwencji prowadzi do pożaru, który jest bardzo trudny do opanowania i wymaga dużych nakładów finansowych, znacznie przekraczających koszty prewencji.

W pracy przedstawiono rozważania stanowiące część projektu badawczego własnego nr N N524 372934 realizowanego w Katedrze Ekologii Terenów Przemysłowych Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii AGH, finansowanego przez MNiSW.

tural environment. Technical difficulties and high amount of labour required by the existing fire prevention monitoring methods of mining waste dumps, high requirements towards contractors and high costs create a risk that the monitoring will be abandoned after a relatively calm period of time. Even after many years the natural and anthropogenic processes can result in self-heating of the waste material and emergence of a fire. The fires occurring in often abandoned, old mining waste dumps show the need for thermal activity measurements and inspection. Therefore, the development of remote, automatic control methods for early self-heating and fire detection of mining waste dumps appears necessary.

Constant supervision of mining waste dumps is the only possibility of fast and effective reaction in the case of confirmed self heating of the waste material. The lack of immediate reaction leads to the intensification of the process and, as a consequence, to difficulties in controlling the fire. The amount of labour and costs needed to control the fire by far exceed the costs of monitoring and prevention.

This study was performed as a part of research N N 524 3729 34 run by the Department of Ecology of Mine Areas, Faculty of Mining and Geoengineering of AGH University of Science and Technology Kraków, financed by the Ministry of Science and Higher Education.

Literatura

1. Adamczyk Z., Bialecka B., 1999: Kształtowanie się zanieczyszczeń powietrza w strefie składowania odpadów powęglowych na przykładzie termicznie czynnego zwałowiska. *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów*, 1999, nr 5.
2. Cebulak S., Śmieja-Król B., Tabor A., Misz M., Jelonek I., Jelonek Z., 2005: Oksyreaktywna analiza termiczna (OTA)-dobra i tania metoda oceny samozapalności węgla na składowiskach-wstępne wyniki badań. In: Jureczko J., Buła Z., Żaba J. [red.]: *Geologia i zagadnienia ochrony środowiska w regionie górnośląskim*. Państwowy Instytut Geologiczny i Polskie Towarzystwo Geologiczne, Warszawa.
3. Gumińska E., Różański Z. 2005: Analiza aktywności termicznej śląskich składowisk odpadów powęglowych. *Karbo* nr 1, 2005 s. 53-58.
4. Korski J., 2007: Rowy chłonne w zwalczaniu pożarów i profilaktyce pożarowej składowisk odpadów górniczych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej* z.276, Gliwice s. 43-56. PL ISSN 0372-9508.
5. Korski J., Friede R., Hensłok P., 2006: Likwidacja egzogenicznych ognisk pożarowych składowiska odpadów pogórnicych „Waleska” w Łaziskach Górnych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej* nr 1715: *Górnictwo* z. 271, Gliwice.

References

1. Adamczyk Z., Bialecka B., 1999: Kształtowanie się zanieczyszczeń powietrza w strefie składowania odpadów powęglowych na przykładzie termicznie czynnego zwałowiska. *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów*, No 2.
2. Cebulak S., Śmieja-Król B., Tabor A., Misz M., Jelonek I., Jelonek Z., 2005: Oksyreaktywna analiza termiczna (OTA)-dobra i tania metoda oceny samozapalności węgla na składowiskach-wstępne wyniki badań. in: ed. Żaba J., Jureczko J., Buła Z.: *Geologia i zagadnienia ochrony środowiska w regionie górnośląskim*. Państwowy Instytut Geologiczny i Polskie Towarzystwo Geologiczne, Warszawa 2005.
3. Gumińska E., Różański Z. 2005: Analiza aktywności termicznej śląskich składowisk odpadów powęglowych. *Karbo*, No 1, 2005 pp. 53-58.
4. Korski J., 2007: Rowy chłonne w zwalczaniu pożarów i profilaktyce pożarowej składowisk odpadów górniczych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*, vol. 276, Gliwice pp. 43-56.
5. Korski J., Friede R., Hensłok P., 2006: Likwidacja egzogenicznych ognisk pożarowych składowiska odpadów pogórnicych „Waleska” w Łaziskach Górnych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej* nr 1715: *Górnictwo* vol. 271, Gliwice.

6. *Korski J., Hensłok P., Bodynek P.*, 2004: Doświadczenia z likwidacji zapożarowania składowiska odpadów powęglowych „Skalny” w Łaziskach Górnych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*, Seria: GÓRNICTWO z. 261. nr kol. 1650, Gliwice
7. *Korski J.*, 2007: Zarządzanie kryzysowe w sytuacji zagrożenia ekologicznego – pożaru składowiska odpadów górniczych. W: Monografia „Zarządzanie środowiskiem w aspekcie zrównoważonego rozwoju terenów uprzemysłowionych”. Centrum Mechanizacji Górnictwa „KOMAG”, Gliwice. s. 67-76.
8. *Maciejasz Z., Kruk F.*: Pożary podziemne w kopalniach. Cz. 1. Wydawnictwo „Śląsk” Katowice 1977.
9. *Różański Z.* 2002: Pozyskiwanie ciepła ze składowisk odpadów powęglowych podlegających naturalnym procesom utleniania. Praca doktorska, Wydział Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej w Gliwicach, grudzień 2002 [niepubl.]
10. *Skotniczy P.*, 2005: Modelowanie trójwymiarowego przepływu powietrza wokół zwałowiska odpadów pogórnich. Prace Instytutu Mechaniki Górniczej PAN, tom 7, str 135-151.
11. *Skotniczy P.*, 2006: Wyznaczanie parametrów przepływowych powietrza w zwałowisku górniczym i jego otoczeniu dla założonej porowatości, Prace Instytutu Mechaniki Górniczej PAN, Volume 23.
12. *Strumiński A.*: Zwalczanie pożarów podziemnych w kopalniach głębinowych. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1996.
13. *Wasilewski S.*: Zastosowanie nowoczesnych technologii monitoringu w badaniach aktywności termicznej składowisk odpadów kopalnianych. *Przegląd Górniczy* Nr 5-6/2009, str. 88 – 92.
6. *Korski J., Hensłok P., Bodynek P.*, 2004: Doświadczenia z likwidacji zapożarowania składowiska odpadów powęglowych „Skalny” w Łaziskach Górnych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*, Seria: GÓRNICTWO vol. 261. No 1650, Gliwice
7. *Korski J.*, 2007: Zarządzanie kryzysowe w sytuacji zagrożenia ekologicznego – pożaru składowiska odpadów górniczych. W: Monografia „Zarządzanie środowiskiem w aspekcie zrównoważonego rozwoju terenów uprzemysłowionych”. Centrum Mechanizacji Górnictwa „KOMAG”, Gliwice. s. 67-76..
8. *Maciejasz Z., Kruk F.*: Pożary podziemne w kopalniach, vol.1, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1977.
9. *Różański Z.* 2002: Pozyskiwanie ciepła ze składowisk odpadów powęglowych podlegających naturalnym procesom utleniania. Praca doktorska, Wydział Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej w Gliwicach, grudzień 2002 [not published].
10. *Skotniczy P.*, 2005: Modelowanie trójwymiarowego przepływu powietrza wokół zwałowiska odpadów pogórnich. Prace Instytutu Mechaniki Górniczej PAN, vol. 7, pp. 135-151.
11. *Skotniczy P.* 2006: Wyznaczanie parametrów przepływowych powietrza w zwałowisku górniczym i jego otoczeniu dla założonej porowatości, Prace Instytutu Mechaniki Górniczej PAN, vol. 23.
12. *Strumiński A.*: Zwalczanie pożarów podziemnych w kopalniach głębinowych. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1996.
13. *Wasilewski S.*: Zastosowanie nowoczesnych technologii monitoringu w badaniach aktywności termicznej składowisk odpadów kopalnianych. *Przegląd Górniczy* Nr 5-6/2009, January 2009, pp. 88-92.

Recenzent: dr inż. Stanisław Trenczek

ПРЕЖДЕВРЕМЕННОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ПОЖАРОВ - ЭЛЕМЕНТ МОНИТОРИНГА СКЛАДИРОВАНИЙ ПОСЛЕУГОЛЬНЫХ ОТХОДОВ

В статье начертаны проблемы, связанные с окислением послеугольных отходов, наблюдающихся на территориях и в районах их складирования. Обсуждены факторы, влияющие на возможность образования пожара такого складирования, необходимые условия и процесс возникновения пожара. Охарактеризованы методы экспертизы термического состояния от самых простых – наблюдательных, до измерительных термического и газового состояния складирования отходов.