

Górnośląski System Informacji o Zagrożeniach Zapadliskowych i jego wykorzystanie w zwalczaniu procesów egzotermicznych w zlikwidowanych kopalniach węgla kamiennego na terenie Katowic

Upper Silesian Information System about sinkhole hazards and its use in the fighting of exothermic processes in abandoned coal mines at Katowice area



Dr inż. Andrzej Kotyrba^{*)}



Mgr Sławomir Siwek^{*)}

Treść: Górnośląski System Informacji o Zagrożeniach Zapadliskowych (zapadliska@gig.eu) jest platformą internetową udostępniającą użytkownikom dane o geograficznym położeniu rejonów dokonanej i zakończonej płytkiej eksploatacji górniczej węgla kamiennego, rud cynku i ołowiu oraz obiektów górniczych (szybów, sztolni) zbudowanych w przeszłości dla udostępnienia złóż tych surowców w obszarze Górnego Śląska. Dane te można wykorzystywać do analiz, badań oraz projektowania działań zmierzających do neutralizacji zagrożeń dla użytkowania terenów zlikwidowanych kopalń węgla kamiennego. Jednym z takich zagrożeń jest utlenianie i spalanie się węgla kamiennego pozostawionego w złożach i związane z nim zmiany warunków geotermicznych w obszarach zlikwidowanych kopalń. Konsekwencją procesów egzotermicznych zachodzących w węglu jest wydzielanie się gazów do atmosfery i deformacje powierzchni. W artykule przedstawiono analizę takiego zagrożenia na terenach północnej części miasta Katowice (dzielnice Wełnowiec-Józefowiec, Dąb, Koszutka i Bogucice), w oparciu o informację geologiczną, górnictwą oraz 11 udokumentowanych przypadków wystąpienia zjawisk egzotermicznych na tym obszarze. Wszystkie przypadki wystąpiły w latach 1977 - 2018 na terenach dokonanej płytkiej eksploatacji węgla kamiennego. Ich efektem było wydzielanie się toksycznych gazów do atmosfery, a w czterech przypadkach deformacje podłoża obiektów budowlanych.

Abstract: Upper Silesian Information System about Sinkhole Hazards (zapadliska@gig.eu) is an Internet platform providing users with data on the geographical location of the completed shallow coal and zinc/lead ore mining likewise about location of mining facilities (shafts, tunnels) built in the past to provide access to these deposits in the area of Upper Silesia. These data can be used for analysis, research and design of activities for the purposes of eliminating threats to the use of post-mining areas. One of such threats is the spontaneous oxidation and combustion of coal left in deposits and changes in geothermic conditions in the abandoned mines. The consequence of exothermic processes occurring in coal is the release of gases into the atmosphere and surface deformations. The paper presents such hazard analysis for the northern part of the city of Katowice (Wełnowiec-Józefowiec, Dąb, Koszutka and Bogucice quarters) based on geological and mining information as well as 11 cases of exothermic processes occurrence in this area. All these phenomena occurred in the years 1977 - 2018 in the areas of shallow coal exploitation. Their effect was the release of toxic gases into the atmosphere and in four cases the occurrence of deformation of the structures' subsoil.

Słowa kluczowe:

GIS, tereny pogórnice, płytka eksploatacja, węgiel, samoistne utlenianie, spalanie, zagrożenie

Keywords:

GIS, post mining areas, shallow exploitation, coal, spontaneous oxidation, combustion, hazard

1. Wprowadzenie

Znajomość geograficznego położenia rejonów płytkiej eksploatacji kopalni jest niezwykle ważna dla bezpieczeństwa

użytkowania i zagospodarowywania terenów pogórnich. Tworzona w Głównym Instytucie Górnictwa baza danych o płytkiej eksploatacji (Kotyrba i in., 2016), w części dotyczącej węgla kamiennego, może być wykorzystana w badaniach i analizie zagrożeń środowiskowych powodowanych procesami samozagrzewania się węgla w opuszczonych złożach na terenach zlikwidowanych kopalni.

^{*)} Główny Instytut Górnictwa w Katowicach

Płytkie zaleganie złóż węgla kamiennego stwarza warunki do jego samoistnego utleniania. Z badań nad zapalnością węgla wynika, że już w temperaturze 20°C przy odpowiedniej ilości powietrza i prędkości jego przepływu, w węglu zachodzą reakcje chemiczne rozpoczynające proces utleniania (Smith, Lazzara 1987; Yua, Smith 2012). Konsekwencją tego procesu może być zapalenie się węgla kamiennego w złożu lub na składowisku odpadów z jego produkcji. Proces samozagrzewania się węgla w złożu oraz w wybranych jego partiach (zrobach z resztkami niewybranego węgla) jest szczegółowo opisany w literaturze dotyczącej aerologii górniczej (Cygankiewicz 2006, 2011 i 2015), gdyż jest to problem stale obecny w prowadzących eksploatację złóż węgla zakładach górniczych. Proces samozagrzewania się węgla w zrobach współczesnych ścian zawałowych jest bardzo podobny do obserwowanego w przypowierzchniowych starych zrobach. Rejony wystąpienia zjawisk termicznych w węglu kamiennym w czynnych kopalniach, ze względu na dostępność wyrobiskami, można otamować i w ten sposób zamknąć dopływ czynnika zgazowującego węgiel jakim jest tlen. W przypadku zlikwidowanych (opuszczonych) kopalń takiej możliwości zazwyczaj nie ma.

Utlenianie i spalanie się węgla kamiennego w złożach stwierdzono we wszystkich krajach, w których one występują. Popularna obecnie encyklopedia cyfrowa wikipedia podaje, że samoistne spalanie się węgla w złożach odnotowano w 10 krajach świata tj. w Australii, Kanadzie, USA, Chinach, Niemczech, Indiach, Indonezji, Norwegii, Nowej Zelandii i RPA (https://en.wikipedia.org/wiki/Coal_seam_fire). Są one także opisane w wielu publikacjach naukowych i artykułach prasowych (Kuenzer i in. 2007; Kuenzer i in. 2012; Heffen i Coats 2004; Stracher, Taylor 2004; Prakash, Vekerdy 2004; Whitehouse, Mulyana 2004; Zhang, Kuenzer 2007). Na liście krajów wymienionych przez ww. serwis internetowy nie ma Polski, pomimo tego, iż zjawiska samoistnego utleniania się węgla kamiennego występuje również w polskich złożach.

O ile utlenianie się węgla kamiennego prowadzi jedynie do wzrostu temperatury górotworu i emisji toksycznych gazów do atmosfery i obiektów budowlanych, to jego spalanie może powodować deformacje terenu podobne do powodowanych podziemną eksploatacją węgla (Derbin i in. 2018) i tworzenie się mieszanin gazów wybuchowych migrujących do atmosfery i obiektów budowlanych. Prawdopodobieństwo

wystąpienia takich zjawisk jest największe w rejonach, w których utwory karbonu z pokładami węgla kamiennego odsłaniają się na powierzchni terenu. Sprzyja im również pozostawiona w ziemi budowlana infrastruktura górnicza (szyby, upadowe, chodniki) oraz przeobrażenie struktury przypowierzchniowych warstw geologicznych dokonana eksploatacją górniczą (defragmentacja warstw, szczeliny, spękania, zapadliska). Zarówno miejsca dawnych budowli górniczych (szybów), jak i miejsca powstałych w przeszłości deformacji nieciągłych (zapadlisk, progów i szczelin) stanowią obecnie potencjalne drogi dla niekontrolowanego przepływu powietrza atmosferycznego do pokładów węgla kamiennego i pozostawionych w nich resztek. Może to spowodować samoistne lub przypadkowe zapalenie się węgla i emisję powstających gazów do atmosfery i budynków. Utlenienie i spalanie się węgla kamiennego na zwałowiskach odpadów z jego produkcji (hałdach) jest zjawiskiem bardzo często obserwowanym na terenie Górnego Śląska, zwłaszcza w przypadku obiektów nadpoziomowych (Łączny i in.. 2012). W kartowaniu rejonów o podwyższonej temperaturze przydatne jest wówczas zastosowanie metod geofizycznych (Kotyrbka i in.. 2012; Kotyrbka, Siwek 2017).

Autorzy niniejszego artykułu zebrali 11 przypadków stwierdzenia utleniania i spalania się węgla kamiennego w zrobach zlikwidowanych kopalń na terenach północnej części Katowic z okresu lat 1977 – 2018. Były one przedmiotem informacji prasowych, badań geologicznych i geofizycznych oraz opinii wykonywanych w Zakładzie Geologii i Geofizyki GIG. Przypadki te poddano analizie w odniesieniu do warunków geologicznych oraz zasobu informacji o płytkiej eksploatacji górniczej zgromadzonego w bazie danych portalu zapadliska@gig.eu.

Analizowany w niniejszym artykule obszar obejmuje północną część miasta Katowice i zamyka się w obrębie następujących dzielnic (od zachodu): Dąb, Welnowiec - Józefowiec, Koszutka, Bogucice i Dąbrówka Mała. Północną granicę omawianego terenu stanowi administracyjna granica miasta Katowice, natomiast za południową przyjęto drogę krajową nr 902, tj. Drogową Trasę Średnicową (ul. Chorzowska i Al. W. Roździeńskiego). Droga ta stanowi obecnie jedną z głównych arterii komunikacyjnych na linii W - E dla Metropolii Górnośląsko-Zagłębiowskiej (rys. 1).



Rys. 1. Mapa sytuacyjno-wysokościowa północnej części miasta Katowice z granicami dzielnic (1 - granica miasta Katowice, 2 - granice dzielnic, 3 - granica terenu opracowania)

Fig. 1. Situational and hypsometric map of the northern part of city Katowice (1 - city border, 2 - quarter border, 3 - border of study area)

Teren opracowania jest silnie zurbanizowany. Zabudowę stanowią osiedla domów jednorodzinnych, wielorodzinnych, obiekty z szeroko rozumianej strefy publicznej, budynki i hale przemysłowe o przeznaczeniu produkcyjnym i magazynowym. Ze względu na relatywnie bliskie położenie względem centrum Katowic zagospodarowanie terenu ulega dużym przemianom. Współczesne budownictwo miejskie ze względu na ograniczenia dostępnej powierzchni przy jednoczesnej presji na zapewnienie miejsc parkingowych wymusza tendencję projektowania części konstrukcji budynków poniżej poziomu terenu. Konsekwencją tego trendu jest wykonywanie głębokich prac ziemnych dochodzących do utworów karbonu, przeobrażonych dokonaną w nich eksploatacją górnictw.

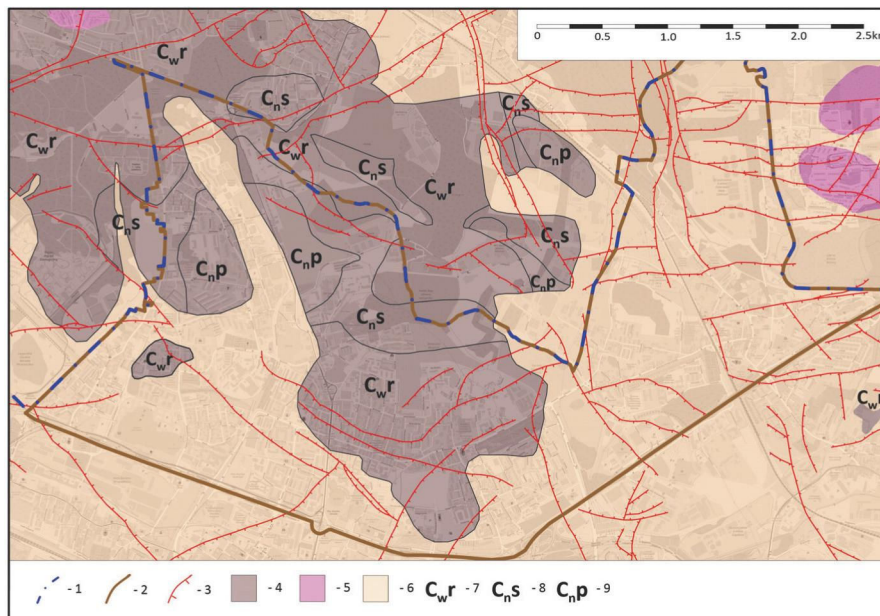
2. Geomorfologia i warunki geologiczne

Pod względem geomorfologicznym obszar Katowic położony jest w obrębie Płaskowyżu Bytomsko – Katowickiego, będącego częścią makroregionu Wyżyny Śląskiej i mezoregionu Wyżyny Śląskiej Południowej (Klimaszewski, 1972; Kondracki, 2000). Płaskowyż Katowicki zbudowany jest w zasadniczej części z iłowcowo-piaskowcowych warstw karbońskich westfalu B, należących do Karbonu Górnego. W rejonie Chorzowa i Katowic płaskowyż przecięty jest doliną rzeki Rawy, będącej dopływem rzeki Brynicy. Analizowany teren odwadniany jest bezpośrednio przez rzekę Rawę przepływającą w odległości około 1 km na południe od ulicy Chorzowskiej. Generalnie teren obniża się łagodnie w kierunku doliny rzeki Rawy; rzędne terenu zmieniają się od około 315 m n.p.m. (Słoneczne Wzgórze i Wzgórza Chorzowskie w rejonie kolonii Agnieszki i Alfreda) do ok 265 m n.p.m. wzdłuż ulicy Chorzowskiej i Al. Roździeńskiego. W dolinie rzeki Rawy rzędne terenu obniżają się do poziomu ok. 260 m n.p.m. (rys 1.).

Pod względem geologicznym podłoże analizowanego obszaru zbudowane jest z utworów czwartorzędowych i karbońskich (Biernat, Kryszowska, 1956; Buła, Kotas, 1994). Utwory triasu zalegają poza granicami Katowic (obszar miasta Siemianowice Śląskie). Obszar ten częściowo obejmuje pradolinę rzeki Rawy, stąd na powierzchni stropu karbonu zalegają różnej miąższości osady akumulacji rzecznej lub rzeczno-lodowcowej (rys. 2). Utwory czwartorzędowe w postaci piasków, żwirów, glin, glin pylastych wypełniają obniżenia terenu oraz pradolinę rzeki Rawy, gdzie osiągają miąższość od kilkunasu do kilkudziesięciu metrów.

Utwory karbońskie warstw rudzkich (grupa 400), siodłowych (500) lub porębskich (600) - w zależności od stopnia erozji - występują przy powierzchni w obrębie wyniesień morfologicznych, a więc w północnej i centralnej części analizowanego terenu (rys. 2). Zazwyczaj są one wówczas przykryte niewielkiej miąższości (od 0 do 10 m) warstwą gruntów powstałych z wietrzenia skał karbońskich, często klasyfikowanymi stratygraficznie jako utwory czwartorzędowe. Na przeważającej części powierzchni terenu występują również zmiennej miąższości utwory antropogeniczne (grunty nasypowe).

Utwory karbonu generalnie zapadają na południowy zachód, a kąt nachylenia zmienia się od 2° do 4° w części północnej do około 25° w dolinie rzeki Rawy. Rozciągłość warstw karbonu jest zbliżona do równoleżnikowej (WNW – ESE). Tektonika tych utworów została szczegółowo rozpoznana robotami górnictwymi przeprowadzonymi w pokładach węgla kamiennego. Obszar pocięty jest gęstą siecią uskoków, których amplitudy zrzutów wahają się od kilku (< 5 m) do 100 metrów. Linie ich biegu mają zasadniczo 2 kierunki: NNW-SSE do NW-SW i NNE-SSW do NE-SW. Uskoki przecinają się wzajemnie, dzieląc utwory karbonu na dużą liczbę niewielkich bloków (rys. 2). W strefach przyuskokowych skały karbońskie są spękanne.



Rys. 2. Mapa geologiczna odkryta z elementami tektoniki oraz stratygrafii utworów karbonu (1 - granica miasta Katowice, 2 - granica terenu opracowania, 3 - uskoki, 4 - karbon, 5 - trias, 6 - czwartorzęd, utwory karbonu: C_{w,r} - w-wy rudzkie, C_{n,s} - w-wy siodłowe, C_{n,p} - w-wy porębskie). Opracowana na podstawie mapy geologicznej (Biernat, Kryszowska, 1956) oraz materiałów archiwalnych z dokumentacji złóżowych KWK Siemianowice, KWK Katowice i KWK Gottwald

Fig. 2. Geological map with elements of tectonics and stratigraphy of Carboniferous beds (1 - Katowice city border, 2 - study area boundary, 3 - fault, 4 - Carboniferous, 5 - Triassic, 6 - Quaternary; carboniferous strata: C_{w,r} - rudzkie beds, C_{n,s} - saddle beds, C_{n,p} - porębskie beds). Developed on the basis of geological map (Biernat, Kryszowska, 1956) and archival materials from abandoned mines "Siemianowice", "Katowice" and "Gottwald"

3. Charakterystyka dokonanej eksploatacji górniczej

Górnośląski System Informacji o Zagrożeniach Zapadliskowych (*zapadliska@gig.eu*) udostępnia informacje o położeniu rejonów dokonanej i zakończonej płytkiej eksploatacji górniczej węgla kamiennego, rud cynku i ołowiu oraz obiektów górniczych (szybów, sztolni) zbudowanych w przeszłości dla udostępnienia złóż tych surowców w obszarze Górnego Śląska. Udostępniane informacje powstają poprzez cyfryzację archiwalnych materiałów górniczych w aktualnie stosowanych układach odniesienia (1992 i WGS84). Obejmują one eksploatację górniczą prowadzoną w złożach węgla kamiennego oraz rud metali do głębokości około 100 m p.p.t. Dotychczasowe obserwacje terenów pogórnich GZW wskazują, iż dla eksploatacji prowadzonej poniżej tej głębokości deformacje nieciągłe powierzchni typu zapadliskowego nie ujawniają się (Kotyrbą 2005).

Eksploatacja górnicza węgla kamiennego w analizowanym terenie prowadzona była wielopoziomowo, obejmując pokłady węgla kamiennego w warstwach rudzkich i siódłowych. Wschodnie warstw rudzkich obejmujące eksploatowane pokłady 404/5, 405, 407/1, 407/4, 408, 409, 416 i 418 (miąższości od 0,8 do 3,3 m) występują w południowej części analizowanego obszaru, gdzie na stropie karbonu zalega kilkanaście – kilkadziesiąt metrów osadów polodowcowych i rzecznych pradoliny Rawy. Warstwy siódłowe wychodzą bezpośrednio na powierzchnię w centralnej i północnej części analizowanego obszaru. Zawierają one 3 pokłady węgla o znaczeniu przemysłowym: 501 (o miąższości ok. 8 m), 504 (o miąższości ok. 2,5 m) i 510 (o miąższości ok. 6,0 m a wraz z 506 - 8 m). Pokłady węgla, zalegające miejscami od powierzchni do głębokości 400 m, zostały wyeksploatowane w XIX i XX w. Eksploatację najpłycej zalegających pokładów węgla kamiennego wg nadań górniczych z początku XX w. (materiały archiwalne - mapy eksploatacji pokładów - KWK Siemianowice, KWK Katowice i KWK Gottwald) prowadziły następujące kopalnie historyczne:

- Kopalnia Polska – w dzielnicy Dąbrówka Mała – po 1945 roku, teren położony w obrębie OG Szopienice I, KWK Siemianowice - eksploatowała pokłady 501 i 510,
- Kopalnia Jutrzenka - w dzielnicy Dąbrówka Mała - po 1945 roku, teren położony w obrębie OG Szopienice I, KWK Siemianowice – eksploatowała pokłady 501 i 510,
- Kopalnia Jerzy - w dzielnicy Dąbrówka Mała i częściowo dzielnicy Bogucice (przy północnej granicy Katowic) – po 1945 roku, teren położony w obrębie OG Szopienice I, KWK Siemianowice - eksploatowała pokłady: 501, 506 i 510,
- Kopalnia Ferdynand (później Katowice) – w dzielnicy Bogucice – po 1945 roku teren KWK Katowice – eksploatowała pokłady: 404/5, 405, 407/1, 407/4, 408, 409, 416, 418, 501, 504, 506, 510,
- Kopalnia Hohenlohe – w dzielnicach Wełnowiec i Koszutka – eksploatowała pokłady 419, 501, 504, 506 i 510,
- Kopalnia Waterloo – północna część dzielnicy Dąb - eksploatowała pokłady 501, 504, 506 i 510,
- Kopalnia Eminencja – południowa część dzielnicy Dąb - eksploatowała pokłady 412, 416, 418, 501, 504, 506 i 510.

Po roku 1945 tereny te zostały przydzielone do trzech kopalń węgla kamiennego: KWK Katowice, KWK Siemianowice (OG Szopienice I oraz Pole Rezerwowe) i KWK Kleofas (Gottwald). Kopalnie te prowadziły już głębszą eksploatację (powyżej 100 m p.p.t) poza rejonem opracowania, za wyjątkiem fragmentarycznej eksploatacji KWK Kleofas w południowej części opracowania (lata 1962 – 1980). Szczegółowe zestawienie dokonanej eksploatacji na podsta-

wie materiałów zawartych w dokumentacjach geologicznych KWK Siemianowice i KWK Katowice - Kleofas przedstawia tabela 1.

Położenie geograficzne opisanych rejonów dokonanej płytkiej eksploatacji górniczej w układzie GIS zostało udokumentowane na mapach dostępnych w serwisie internetowym Głównego Instytutu Górniczego (*zapadliska.gig.eu*) - rys 3. Zakres eksploatacji przedstawiony jest w postaci poligonów obejmujących obszary, gdzie miała miejsce płytka eksploatacja górnicza złóż węgla kamiennego (od powierzchni terenu do głębokości około 100 m).

Z przedstawionych w tab. 1 danych wynika, że w podłożu analizowanego obszaru eksploatację węgla prowadzono w wielu poziomach głębokościowych. Doprowadziła ona do znacznego przekształcenia pierwotnej powierzchni terenu oraz struktury i własności górotworu.

Powszechnie stosowanym systemem eksploatacji pokładów węgla kamiennego w okresie działalności kopalń na terenie północnych Katowic (1824 - 1944) był system zabierkowy, zwany ogólnie „śląską metodą filarową” (Borecki i in. 1964). Zabierki wybierano na całą wysokość pokładu i rabowano obudowę w celu odzyskania drewna i doprowadzenia stropu zabierki do zawalenia. Zwykle eksploatację prowadzono z tzw. nogą (filar), tj. niewybraną częścią pokładu stanowiącą podparcie dla zabierki, ale w przypadku bardzo płytkich pokładów eksploatację prowadzono na zabierki bez nogi (filar). System ten prowadził do pozostawienia w złożu dużych ilości węgla w zrobach i pozostawionych filarach (nogach).

Pozostawianie filarów w rejonach stref uskokowych powodowało nierównomierne osiadania powierzchni, a zarazem silne spękanie i rozwarstwienie twardych karbońskich piaskowców i łupków zalegających ponad eksploatowanymi pokładami. Dla bardzo płytkiej eksploatacji pokładów warstw siódłowych, prowadzonej na głębokości 10 – 30 m pod poziomem terenu, przeważnie dochodziło do powstawiania nieciągłych deformacji powierzchni (zapadlisk), które na bieżąco likwidowane były materiałem odpadowym z wydobycia węgla. Większość takich zdarzeń nie była w przeszłości dokumentowana i rejestrowana. Przeobrażenie strukturalne przystropowych partii utworów karbonu doprowadziło do wytworzenia w obrębie górotworu trudno obecnie identyfikowalnych dróg dopływu powietrza atmosferycznego do płytko zalegających pokładów węgla kamiennego i ich zrobów. W sprzyjających warunkach może to prowadzić do utleniania, samozagrzewania i spalania się pozostawionego w złożu węgla.

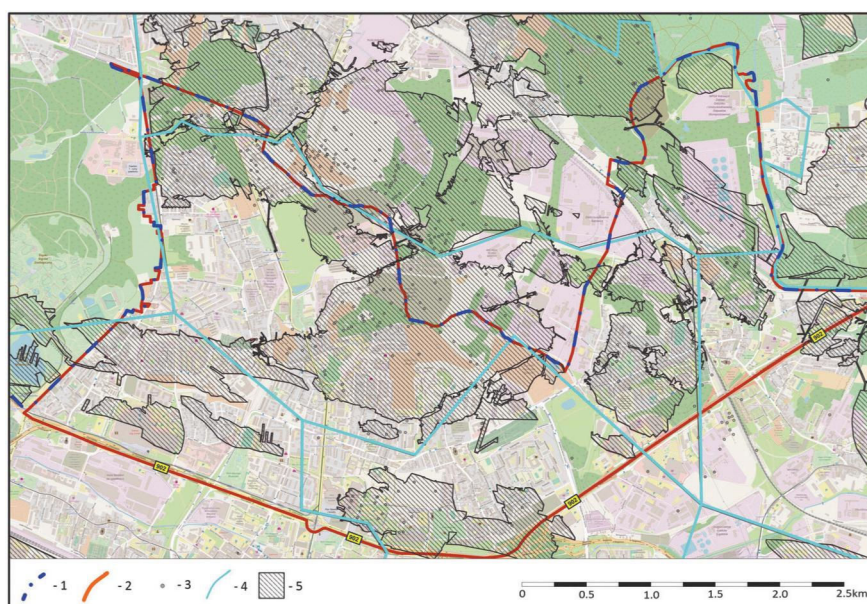
4. Procesy egzotermiczne w złożu węgla i ich wpływ na powierzchnię

Dopływ powietrza atmosferycznego do węgla inicjuje proces jego utleniania. Jest to pierwsza reakcja chemiczna, która prowadzi do wzrostu temperatury górotworu i powstawania lokalnych rejonów wydzielania się energii cieplnej i gazów z węgla. W wyniku skumulowania dużej ilości energii cieplnej może dojść do zapalenia się węgla zarówno w pokładzie jak i jego zrobach. Przyrost temperatury węgla powodowany jest licznymi reakcjami chemicznymi o charakterze egzogenicznym. Związane są one przede wszystkim z procesem utleniania węgla i procesem rozkładu substancji, takich jak na przykład piryt czy markasyt (Dulewski i in. 2010). W procesie powstawania pożaru można wyróżnić trzy fazy wpływające na zmianę temperatury:

- niskotemperaturowe utlenianie,
- intensywne utlenianie,
- palenie się (Cygankiewicz J. 2006).

Tabela 1. Zbiorcza charakterystyka dokonanej eksploatacji pokładów węgla kamiennego w obrębie warstw rudzkich i siodłowych

Pokład	Grubość pokładu, m	Głębokość, m ppt	Lata eksploatacji	System eksploatacji	Rejon
404/5	2,1	5 - 72	1852 - 1869	zabierkowy z zawałem stropu	Kop. Ferdynand
405	3,0	8 - 91	1857 - 1903	zabierkowy z zawałem stropu	Kop. Ferdynand
407/1	2,0	12 - 115	1824 - 1901	zabierkowy z zawałem stropu	Kop. Ferdynand
407/4	1,1	4,3 - 128	1824	zabierkowy z zawałem stropu	Kop. Ferdynand
408	2,1	19 - 52	1851 - 1857	zabierkowy z zawałem stropu	Kop. Ferdynand
409	1,5 - 1,85	19 - 135	1845 - 1930	zabierkowy z zawałem stropu	Kop. Ferdynand
412	1,8 - 2,1	50 - 170	1910 - 1919	zabierkowy z zawałem stropu	Kop. Eminencja
416	1,0 - 1,5	40 - 220	1913 - 1940	zabierkowy z zawałem stropu	Kop. Eminencja
418	1,0 - 1,7	40 - 340	1902 - 1944	zabierkowy z zawałem stropu	Kop. Ferdynand
419	1,2 - 1,85	30 - 75	1892 - 1913	zabierkowy z zawałem stropu	Kop. Hohenlohe
501	6,25	Ok. 80	1931 - 1932	zabierkowy z zawałem stropu	Kop. Polska
	5,0 - 6,2	50 - 60	1931 - 1937		Kop. Jutrzenka
	4,5 - 8,5	25 - 85	1850 - 1926		Kop. Jerzy
	8,0 - 10,0	75 - 380	1882 - 1930		Kop. Ferdynand
	5,5 - 7,2	15 - 175	1822 - 1909		Kop. Hohenlohe
	6,5 - 8,0	28 - 120	1871 - 1910		Kop. Waterloo
	6,5 - 8,1	30 - 330	1873 - 1936 1962 - 1980		Kop. Eminencja
504	2,1 - 2,5	75 - 380	1882 - 1930	zabierkowy z zawałem stropu	Kop. Ferdynand
	2,1 - 2,3	20 - 130	1877 - 1907		Kop. Hohenlohe
	2,0	30 - 130	1871		Kop. Waterloo
	1,8 - 2,3	30 - 340	1874 - 1931 1971		Kop. Eminencja
506	1,4 - 1,9	60 - 100	1877 - 1922	zabierkowy z zawałem stropu	Kop. Jerzy
	1,0	60 - 70	1897 - 1899		Kop. Hohenlohe
510	2,5 - 8,0	60 - 110	1880 - 1884	zabierkowy z zawałem stropu	Kop. Jutrzenka
	2,0 - 8,0	55 - 110	1873 - 1926		Kop. Jerzy
	5,5 - 6,5	30 - 205	1863 - 1909		Kop. Hohenlohe
	5,0	25 - 170	1874 - 1897		Kop. Waterloo
	4,5 - 5,6	40 - 360	1877 - 1934 1964 - 1979		Kop. Eminencja



Rys 3. Położenie rejonów dokonanej płytkiej eksploatacji węgla w północnej części Katowic oraz wyrobisk udostępniających (szybów, sztolni). (1 - granica miasta Katowice, 2 - granica terenu opracowania, 3 - wyrobisko udostępniające, 4 - granice zlikwidowanych obszarów górniczych, 5 - obszary dokonanej płytkiej eksploatacji węgla). Źródło: zapadliska.gig.eu.

Fig. 3. Location of the areas of shallow coal exploitation and access points (shafts, adits) in the northern part of Katowice. (1 - border of the Katowice city, 2 - border of study area, 3 - access pit, 4 - borders of abandoned mines, 5 - areas of shallow coal exploitation). Source: zapadliska.gig.eu.

Intensywność zachodzących reakcji chemicznych zależy od zawartości węgla i innych substancji palnych w zrobach (takich jak np. drewno w obudowie) oraz ilości tlenu dostarczanego w rejon ogniskowy. W I. fazie procesu powstawania ogniska pożarowego w węglu, procesy chemiczne zachodzące w węglu mają jedynie charakter zgazowania i nie powodują znacznych ubytków jego masy. W efekcie tych procesów wydzielane jest ciepło oraz produkty gazowe, do których można zaliczyć: parę wodną, tlenek węgla, dwutlenek węgla, wodór, dwutlenek siarki, dwutlenek azotu, węglowodory alifatyczne i aromatyczne, siarkowodor i dwusiarczek węgla (Drenda i in., 2007). Wydzielające się związki gazowe powodują wyraźnie odczuwalny dyskomfort zapachowy (tzw. odoranty) oraz w przypadku osiągnięcia odpowiednich stężeń mogą być niebezpieczne (gazy wybuchowe lub duszące).

W kolejnych fazach powstawania ogniska pożarowego, węgiel kamienny ulega intensywnemu zgazowaniu i spalaniu, co prowadzi do powiększania się rozmiarów pozostawionych w pokładzie pustek pogórnich (wytrobiska udostępniające) i tworzenia się nowych pustek w filarach i pozostawionych resztkach węgla. Te procesy powodują już znaczne ubytki masy w pokładzie węglowym. W ich wyniku nadległe warstwy skalne mogą ulegać deformacjom o charakterze ciągłym i nieciągłym. O rodzaju deformacji decyduwać będą: współzależność geometrii „starych” pustek pozostawionych w złożu, „nowych” pustek powstających w wyniku procesów fizyko-chemicznych zachodzących w węglu oraz lokalne warunki geologiczne.

Procesy egzotermiczne w zrobach płytko zalegającego złoża węgla kamiennego mogą mieć zatem negatywny wpływ na stabilność powierzchni oraz stwarzać zagrożenie gazowe dla użytkowników terenów pogórnich.

5. Ocena zagrożenia procesami egzotermicznymi terenów płytkiej eksploatacji węgla w północnej części Katowic

Przypadki palenia się węgla kamiennego, które wystąpiły w przeszłości na analizowanym obszarze zostały uwidocznione na archiwalnych (niemieckich) mapach górniczych z XIX wieku. Według przekazów ustnych byłych pracowników kopalni KWK Kleofas - Gottwald w obrębie byłych obszarów górniczych kopalń Waterloo i Hohenlohe zdarzenia spalania się pokładów węgla grupy 500 występowały w okresie działania, a następnie likwidacji kopalni (lata 80. i 90. XX wieku). Występujący obecnie stan termiczny i gazowy górotworu na terenie północnych Katowic jest zatem wynikiem postępującego już od ponad 100 lat procesu samoistnego zagrzewania w przynajmniej jednym płytko zalegającym pokładzie węgla kamiennego. Obserwowane obecnie na powierzchni skutki tych pożarów jednoznacznie wskazują, iż podjęte w przeszłości działania zapobiegawcze nie przyniosły spodziewanych efektów. Stwarza to sytuację, w której mechanizm rozprzestrzeniania się procesów egzotermicznych oraz negatywne ich oddziaływanie na powierzchnię terenu i znajdujące się na niej budynki nie są w pełni poznane.

W niniejszym rozdziale podjęto próbę rejonizacji zagrożenia terenów w północnej części Katowic ze względu na potencjalne ujawnienie się jego skutków na powierzchni. W okresie od 1977 do 2018 r. zinventaryzowano w Głównym Instytucie Górnictwa 11 przypadków, w których zaobserwowano efekty procesów egzotermicznych zachodzących w pokładach węgla stanowiących podłoże budowlane. Stwierdzone zostały one bądź to w trakcie ustalania przydatności budowlanej określonych fragmentów analizowanego obszaru północnych Katowic (otworami badawczo-podszadzkowymi), bądź na

podstawie obserwacji terenowych związanych z zaistniałymi uszkodzeniami budynków w wyniku rozwoju strefy zapadliskowej ponad wypalonym węglem w pokładzie lub jego zrobach.

Podstawowym wskaźnikiem oceny zagrożenia stabilności podłoża budowlanego procesami egzotermicznymi zachodzącymi w węglu kamiennym była anomalnie podwyższona temperatura górotworu, określana zazwyczaj w sięgającym do najpłytszego pokładu węgla otworze badawczo-podszadzkowym lub w płytkich otworach monitoringowych (o głębokości ok. 1,5 - 3,0 m). Dodatkowym parametrem były wyniki badań składu chemicznego powietrza glebowego pobranego z otworów, które wykazywały podwyższone zawartości gazów będących produktem zgazowania węgla. W jednym przypadku odwierceni otworu towarzyszyła silna emisja dymów. Położenie zarejestrowanych 11 miejsc stwierdzenia aktywności termicznej węgla kamiennego uwidoczniło na rys. 4.

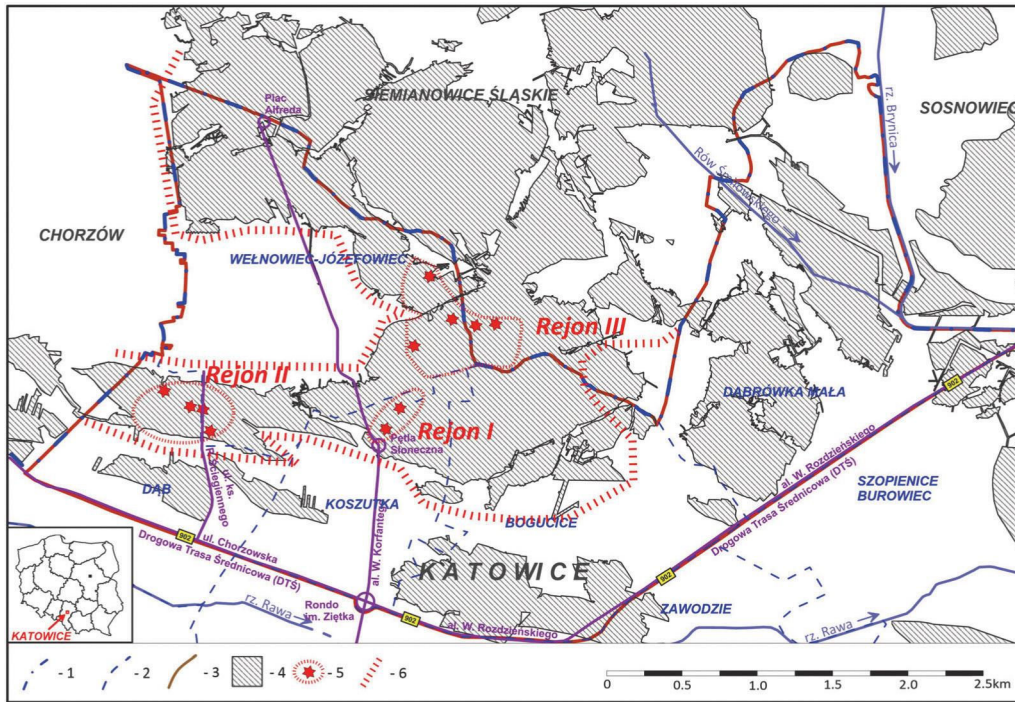
Tereny w rejonach I i II na przeważającej części swej powierzchni są zabudowane. Wystąpiły na nich quasi-ciągłe i nieciągłe deformacje powierzchni terenu. Spowodowały one uszkodzenia istniejących budynków (przechylenie, spękania ścian). Zjawiskom tym towarzyszyła emisja gazów powstających w wyniku spalania węgla do atmosfery i pomieszczeń piwnicznych. Rejon III to teren silnie przeobrażony działalnością przemysłową. Naturalne utwory geologiczne częściowo są przykryte nasypami odpadów z produkcji hutniczej oraz górniczej. W zachodniej jego części w przeszłości istniało nadpoziomowe wysypisko śmieci. Zostało ono zlikwidowane przez zasypanie odpadami w produkcji węgla kamiennego. W obrębie tego rejonu jest również obszar tzw. „dzikiej” nielegalnej eksploatacji węgla (biedaszyby). W obszarze tym istnieje wiele niezasypanych lejów zapadliskowych, które powstały w przeszłości oraz formują się w chwili obecnej.

Jednym z rejonów w północnej części Katowic, gdzie doszło do ujawnienia się na powierzchni procesów egzotermicznych w zrobach węglowych jest północna część dzielnicy Dąb (rejon II). W ich efekcie w pokładzie 501 w roku 2004 (po 125 latach od zakończenia eksploatacji), na powierzchni powstała quasi-ciągła deformacja w kształcie niecki o głębokości maksymalnie 0,5 m i średnicy około 30 m (Kotyrbą i in., 2002). Wpływu procesu zachodzącego w pokładzie węgla objęły dwa jednopiętrowe, podpiwniczone budynki. Deformacja podłoża spowodowała znaczące uszkodzenia konstrukcji nośnej jednego z budynków, w konsekwencji czego został on wyburzony. Najprawdopodobniej w tym przypadku do powstania obniżenia doprowadziło spalanie się filarów węglowych podtrzymujących strop między sąsiadującymi zabierkami w pokładzie 501 zalegającym na głębokości około 30 m p.p.t.

Zagrożenie zapadliskowe terenu można oszacować za pomocą wzorów na maksymalną wysokość stref zawału (1) i spękań (2) nad pustką górniczą, przedstawionych w pracy M. Chudka, W. Janusza i J. Zycha (1988), określających geometrię rozwijania się procesu zapadliskowego w warstwach nadległych, płytkiej pustce górniczej. Dane do obliczeń charakteryzujących możliwość zaistnienia deformacji powierzchni przyjęto dla warunków zalegania w analizowanym obszarze pokładu 501, który generalnie zalega tu najpłycej:

- uśredniona grubość pokładu 501 $g = 7,5$ m,
- miąższość zwięzłych skał stropowych (piaskowce dolnorudzkie) $h = 10 - 50$ m,
- głębokość eksploatacji $H = 10 - 100$ m.

Maksymalną wysokość strefy zawału wywołanego załamaniami się warstw stropowych nad pokładem 501 h_{zmax} można oszacować wzorem (1).



Rys 4. Zagrożenie procesami egzogenicznymi terenów opuszczonych złóż węgla w północnej części miasta Katowice (1 - granica miasta Katowice, 2 - granice dzielnic, 3 - granica analizowanego terenu, 4 - obszary dokonanej płytkiej eksploatacji węglowej (zapadliska.gig.eu), 5 - rejony wystąpienia procesów egzogenicznych, 6 - strefa zagrożona procesami egzogenicznymi

Fig. 4. Exothermic hazard on the areas of abandoned coal mines in the northern part of Katowice (1 - Katowice city border, 2 - quarter boundary, 3 - border of study area, 4 - borders of shallow coal exploitation, 5 - location of recorded events, 6 - regions of exothermic hazard)

$$h_{z\max} = g \left[\frac{6}{\pi(k-1)} + \frac{1}{4} \right] \quad (1)$$

gdzie k jest współczynnikiem rozluźnienia górotworu mierzonym stosunkiem objętości skał po rozkruszeniu do objętości skał w caliznie, wynoszącym dla piaskowców dolnorudzkich $k = 1,4$.

Stąd wartość $h_{z\max}$ wyniesie:

$$h_{z\max} = 7,5 \left[\frac{6}{\pi(1,4-1)} + \frac{1}{4} \right] = 37,7 \text{ m} \quad (2)$$

Zgodnie z cytowaną metodą (Chudek i in., 1988) wysokość strefy spękań $h_{s\max}$, którą określa wzór (3) wyniesie:

$$h_{s\max} = 1,5 \cdot h_{z\max} = 56,5 \text{ m} \quad (3)$$

Zatem deformacje nieciągłe powierzchni (zapadliska) przy eksploatacji prowadzonej powyżej głębokości $h_{z\max}$ (od 10 do ok. 30 – 40 m p.p.t.) mogły powstawać praktycznie równolegle z postępowaniem robót górniczych. Były one wypełniane najczęściej skałą płoną z eksploatacji pokładu (rumoszem piaskowcowym), co przy braku nadkładu czwartorzędowego, stanowi dogodne warunki dla wymiany powietrza bezpośrednio ze zrobami tego pokładu. Eksploatacja na takich głębokościach była prowadzona w pierwszym okresie istnienia kopalnictwa na terenie północnych Katowic, stąd można przyjąć, iż po upływie ponad 150 lat, jej wpływy, zarówno związane z migracją pustek ku powierzchni, jak i istnieniem pożaru zrobów, w cały czas infiltrowane powietrzem atmosferycznym (brak czwartorzędu) strefie, za wygasłe. Dla terenów, w których eksploatacja górnicza była prowadzona poniżej głębokości 56,5 m p.p.t. ($h > h_{s\max}$) powstanie deformacji nieciągłej powierzchni nie powinno mieć miejsca. Wystąpienie

deformacji nieciągłych w przeszłości ma wpływ na obecne istnienie zagrożenia procesami egzogenicznymi, gdyż miejsca wystąpienia zapadlisk oraz powstałe wskutek osiadania terenu spękania i szczeliny w górotworze stanowią uprzywilejowane drogi migracji powietrza atmosferycznego do zrobów. Podobnie ma się z wyrobiskami udostępniającymi złożę węgla (szyby, szybiki, upadowe), których sposób likwidacji w zdecydowanej większości nie jest znany. Ilość takich wyrobisk maleje wraz ze wzrostem głębokości eksploatacji (w analizowanym terenie z północy na południe).

Obecnie, zagrożenie utlenianiem i spalaniem się węgla kamiennego utrzymuje się w rejonach, gdzie w płytko wyeksploatowanych pokładach pozostały znaczne ilości węgla, a karboński nadkład jest silnie spękany wskutek dokonanej eksploatacji. Umożliwia to migrację powietrza atmosferycznego w głąb podłoża, stwarzając warunki do samozagrzewania się pozostałego węgla. Ułatwieniu migracji powietrza w głąb podłoża sprzyja morfologia terenu (odsłonięte południowe zbocza Wzgórza Słonecznego i Wzgórz Chorzowskich) oraz odwadnianie górotworu dla potrzeb ochrony działających w południowej części Katowic podziemnych zakładów górniczych.

W oparciu o powyższe, dla północnych dzielnic Katowic możliwe jest wyznaczenie strefy, w której istnieją korzystne warunki do występowania procesów egzotermicznych w płytko zalegających zrobach po eksploatacji węgla kamiennego. W otoczeniu tej strefy, zlokalizowanej bezpośrednio nad zrobami górniczymi, możliwa jest migracja gazów powstających w procesach zachodzących w węglu. Ze względu na fakt, iż chodników transportowych w opuszczonych kopalniach nie likwidowano w sposób trwały, długość drogi migracji może być znaczna i sięgać kilometrów. Przepuszczalne granice strefy potencjalnej migracji gazów w górotworze

karbońskim oraz emisji gazów do atmosfery przedstawiono na rysunku 4. Strefa ta ma nieregularny kształt i przechodzi na obszary miast Chorzów i Siemianowice Śląskie. Jej zachodnią granicę wyznaczają ulice: Złota, Bukowa, Krzyżowa w dzielnicy Dąb, natomiast wschodnią ulice Katowicka, Podhalańska i Budowlana w dzielnicy Bogucice.

Czynnikiem inicjującym rozwój procesów egzogenicznych w podłożu zbudowanym ze skał karbońskich zawierających węgiel kamienny może być wykonanie głębokiego wykopu pod planowany obiekt budowlany lub nawet głębokiego otworu wiertniczego na etapie ustalania warunków geologiczno-inżynierskich i geotechnicznych. W przypadku, gdy zroby mają czynny kontakt z północną częścią strefy i skutek prac geologicznych lub budowlanych dojdzie do przerwania izolującej warstwy utworów nadkładu karbonu, może powstać efekt «zassania» powietrza atmosferycznego w głąb górotworu i samozagrzenia się węgla w zrobach.

Ognisko procesu egzogenicznego powstanie wówczas w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca dopływu powietrza do zrobów. Ujście gazów najprawdopodobniej nastąpić będzie przy północnej granicy wyznaczonego terenu (na wychodni warstwy). Taki charakter miało zdarzenie, które wystąpiło w roku 1977 w rejonie I (Rosikoń, 1979). Drożność powstałego układu obiegu powietrza może decydować o przebiegu, czasie trwania procesu palenia oraz stopniu spalania się węgla kamiennego w zrobach i resztkach pokładu węglowego, a tym samym o wielkości i rodzaju odkształceń podłoża obiektu budowlanego.

6. Zwalczanie zjawisk egzotermicznych w podłożu budowlanym

Zasadniczym elementem przy wyborze sposobów zwalczania i przeciwdziałania procesom zagrzewania się węgla kamiennego w pokładach i zrobach poeksploatacyjnych jest rozkład przestrzenny dróg cyrkulacji powietrza w węglu, po części związany z układem wyrobisk udostępniających złoża, a po części z układem przeobrażeń struktury warstw skalnych w nadkładzie wyrobisk eksploatacyjnych (strefy zawałowe, pustki, szczeliny). Wyrobiska udostępniające nawet w przypadkach, w których uległy zawaleniu, stanowią potencjalnie główne drogi możliwej migracji powietrza oraz gazowych produktów przemian chemicznych zachodzących w węglu. Likwidacja zagrożenia spalania się węgla kamiennego w podłożu budowlanym, o ile jest to ekonomicznie i społecznie uzasadnione, musi być wykonana w oparciu o istniejący układ wyrobisk podziemnych w złożu węgla. Praktycznie jedynymi technologiami likwidacji takich zjawisk jest zatłaczanie w podłożu niepalnych geospoiw, względnie inertnych gazów poprzez otwory wiertnicze. Prace takie są kosztowne i czasochłonne. Niejednokrotnie ich wykonanie wymagać będzie dostępu do działek sąsiadujących z terenem przeznaczonym pod inwestycję. A to w analizowanym w niniejszym artykule terenie, który charakteryzuje się gęstą zabudową, stwarza wiele problemów technicznych i prawnych.

Problemem przy zabudowie terenów zagrożonych procesami egzotermicznymi w podłożu budowlanym jest również występowanie zagrożenia gazowego. Gazowe produkty zgazowania i spalania węgla (zwłaszcza CO_2 , H_2 , CH_4) mogą migrować zarówno z pozostawionymi w złożu wyrobiskami górniczymi, jak i poprzez zdefragmentowane dokonaną eksploatacją warstwy nadkładu. Ich ujście do atmosfery może być znacznie oddalone od miejsc, w których zachodzą procesy egzogeniczne w węglu. Ilustruje to, jak trudne może być ich zlokalizowanie bez regionalnego rozpoznania warunków

geotermicznych w górotworze po zakończeniu eksploatacji i likwidacji kopalń.

Na terenach przeznaczonych pod inwestycje, obejmujące głębokie posadowienie obiektów, jest zatem konieczne (oprócz rozpoznawania własności geologiczno-inżynierskich podłoża) również wykonywanie geotermicznych i atmo-geochemicznych badań górotworu w strefie od powierzchni terenu do najbliższej eksploatowanego w danym rejonie pokładu węgla.

7. Wnioski

Wszystkie analizowane w artykule przypadki stwierdzenia procesów egzotermicznych w opuszczonych złożach węgla kamiennego w północnej części Katowic wystąpiły w rejonach, w których utwory karbonu odsłaniają się na powierzchni terenu, względnie są przykryte niewielkiej grubości warstwą gruntów odpadowych. Jednocześnie są to rejon, w których udokumentowane jest dokonanie robót górniczych w złożu węgla kamiennego (tereny płytkiej eksploatacji). Wskazuje to na konieczność podjęcia badań stanu geotermicznego takich terenów, a w szczególności terenów zagospodarowywanych na cele budowlane. Tworzony w GIG system informacji o położeniu płytkiej eksploatacji w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (portal internetowy zpadliska.gig.eu) stwarza możliwość wstępnej analizy zagrożeń powierzchni deformacjami oraz dróg przemieszczania gazów w górotworze (mającymi swą przyczynę w procesach egzotermicznych zachodzących w opuszczonych złożach węgla). Zintegrowane w zasobach GIG mapy dokonanej eksploatacji z różnych kopalń (przed i powojennych) wraz z danymi kartografii geologicznej pozwalają na projektowanie badań aktywności termicznej węgla kamiennego w opuszczonych złożach w skali regionalnej, a więc zarówno na terenie miasta Katowice, jak i innych terenach Górnego Śląska o zbliżonych warunkach geologicznych.

Niniejsza publikacja została wykonana w ramach prac własnych Głównego Instytutu Górniczego w Katowicach ze środków finansowych przyznanych na działalność statutową.

Literatura

- BORECKI M. 1964 - Monografia polskiego górnictwa węglowego. Systemy eksploatacji węgla kamiennego. Wydawnictwo Śląsk. Katowice.
- BIERNAT S., KRYSOWSKA M. 1956 - Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000 Arkusz M34-63A Katowice - Wydawnictwa Geologiczne.
- BULA Z., KOTAS A. 1994 - Atlas Geologiczny Górnośląskiego Zagłębia Węglowego w skali 1:100 000. Państwowy Instytut Geologiczny, Polska Agencja Ekologiczna S.A.
- CHUDEK M., JANUSZ W., ZYCH J. 1988 - Studium dotyczące stanu rozpoznania tworzenia się i prognozowania deformacji nieciągłych pod wpływem podziemnej eksploatacji złóż. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, z. 866.
- CYGANKIEWICZ J. 2006 - Modelowanie emisji gazów z zagrzewającego się złoża węgla. Materiały konferencyjne 4 Szkoły Aerologii Górniczej. Kraków.
- CYGANKIEWICZ J. 2011 - Wpływ zawartości wilgoci w węglu na przebieg samozagrzewania. „Górnictwo i Geologia”, t. 6, z. 3.
- CYGANKIEWICZ J. 2015 - Wyznaczanie warunków krytycznych samozapalania węgla w zrobach ścian. Arch. Min. Sci. Vol. 60. No 3, s. 761 – 776.
- DERBIN Y.G., WALKER J., WANATOWSKI D. 2018 - Modelling surface subsidence during underground coal gasification. International Conference on Geo-mechanics, Geo-energy and Geo-resources. IC3G2018.

- DRENDA J., RÓŻAŃSKI Z., SŁOTA K., WRONA P. 2007 - Zagrożenie pożarowe na zwałowiskach odpadów powęglowych. „Górnictwo i Geoinżynieria”. z. 3/1 s. 149 - 157
- DULEWSKI J., MADEJ B., UZAROWICZ R. 2010 - Zagrożenie procesami termicznymi obiektów zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi” t. 26, z. 3.
- HEFFERN E.L., COATES D.A. 2004 - Geologic history of natural coal-bed fires, Powder River basin, USA”. International Journal of Coal Geology. 59: 25–47.
- KLIMASZEWSKI M. 1972 - Geomorfologia Polski. Polska południowa, góry i wyżyny. Tom I. PWN. Warszawa.
- KONDRACKI J. 2000 - Geografia regionalna Polski. PWN. Warszawa.
- KOTYRBA A., + zespół 2000 - Ocena przyczyn uszkodzeń 2-ch budynków mieszkalnych zlokalizowanych w rejonie ulic Brzoskwiniowej 21 i Ściegiennego w Katowicach na podstawie badań geoelektrycznych. Dokumentacja pracy BU GIG o symbolu 48232452. Katowice (praca niepublikowana).
- KOTYRBA A. 2005), Zagrożenie i ryzyko zapadliskowe terenów GZW. „Wiadomości Górnicze” nr 7-8, s. 348-358.
- KOTYRBA A., GRĄDZIEL M., GOGOLA K. 2012 - Zastosowanie metody elektrooporowej w badaniach stanu termicznego zwałowisk odpadów powęglowych. „Przeгляд Górnicy”, 4, 53-61.
- KOTYRBA A., FROLIK A., KORTAS Ł., SIWEK S. 2016 - Górnośląski system informacji przestrzennej o zagrożeniach powierzchni na terenach pogórnicych. Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN, nr 94, s 91-104.
- KOTYRBA A., SIWEK S. 2017 - Zastosowanie metody inwersji danych z pomiarów elektrooporowych do oceny stanu termicznego hałdy pogórnicych w Chorzowie. „Przeгляд Geologiczny” nr 8, 496 - 504.
- KUENZER, C.; ZHANG, J.; TETZLAFF, A.; VAN DIJK, P.; VOIGT, S.; MEHL, H.; WAGNER, W. 2007 - Uncontrolled coal fires and their environmental impacts: Investigating two arid mining regions in north-central China. Applied Geography. 27. 42–62. doi:10.1016/j.apgeog.2006.09.00
- KUENZER, C.; STRACHER, G. 2012 - Geomorphology of Coal Seam Fires”. Geomorphology. 138: 209–222. doi:10.1016/j.geomorph.2011.09.004.
- ŁĄCZNY M.J., BAJERSKI A., BARAN J., CICHY M., GOGOLA K., GRĄDZIEL M., JANIK A., JANOSZEK T., KOTYRBA A., MICHALAK M., OLSZEWSKI P., RYSZKO A., SZAFRANIEC A., ŚWINDER H. 2012 - Opracowywanie i wdrażanie innowacyjnych technologii środowiskowych stosowanych na zwałowiskach odpadów powęglowych. Podstawy teoretyczno-metodyczne i przykłady praktyczne. Pr. zbior. Wyd. Nauk. Inst. Technologii Eksploatacji - PIB..
- ROSIKOŃ A. 1979 - Budownictwo komunikacyjne na terenach objętych szkodami górnicychmi. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, s. 125 - 133.
- PRAKASH A., VEKERDY Z. 2004 - Design and implementation of a dedicated prototype GIS for coalfire investigations in North China. International Journal of Coal Geology 59. 107–119.
- SMITH, A. C., LAZZARA, C. P. 1987 - Spontaneous combustion studies of U.S. coals. Report of Investigations 9079. U.S. Bureau of Mines.
- STRACHER G., TAYLOR T. 2004 - Coal fires burning out of control around the world: thermodynamic recipe for environmental catastrophe. International Journal of Coal Geology 59. p. 7-17.
- WHITEHOUSE A., MULYANA A. 2004 - Coal fires in Indonesia. International Journal of Coal Geology 59, 91–97.
- ZHANG, J., KUENZER, C. 2007 - Thermal surface characteristics of coal fires 1: Results of in-situ measurements. Journal of Applied Geophysics. 63: 117 – 134. doi:10.1016/j.jappgeo.2007.08.002.
- YUAN L., SMITH C. A. 2012 - The effect of ventilation on spontaneous heating of coal. Office of Mine Safety and Health Research. National Institute for Occupational Safety and Health. Pittsburgh. PA.USA. https://en.wikipedia.org/wiki/Coal_seam_fire

Artykuł wpłynął do redakcji – marzec 2019
Artykuł akceptowano do druku – czerwiec 2019



THIELE

Fabryka Łańcuchów Przenośnikowych
i Technicznych Kuźnia Matrycowa

- Łańcuchy ogniowe górnicych i ogniwa złączne
- Łańcuchy zawieszowe i uchwyty transportowe
- Łańcuchy ogniowe nawęglane, kute i płytkowe



THIELE GmbH & Co. KG
Tel.: +49 2371-947 0

Werkstr. 3
Fax: +49 2371-947 295

58640 Iserlohn
info@thiele.de

Germany
www.thiele.de