ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2007
Seria: GÓRNICTWO z. 279 Nr kol. 1764

Dariusz MUSIOŁ
Politechnika Śląska, Gliwice

REZERWA REJONOWA JAKO SPOSÓB ZABEZPIECZENIA WENTYLACYJNEGO REJONÓW ŚCIAN ZAGROŻONYCH POŻARAMI ENDOGENICZNYMI W POLACH NIEMETANOWYCH

Streszczenie. W artykule wskazano na możliwość wykorzystania rezerwy rejonowej jako jednego ze sposobów profilaktyki w walce z zagrożeniem pożarami endogenicznymi w ścianach eksploatacyjnych.

Występujące zagrożenie pożarowe określane na podstawie wskaźników ΔCO, $\dot{V}_{CO}$ oraz G, ujęte w przepisach górniczych [12], jest często niejednoznaczne, szczególnie w rejonach ścian przewietrzanych niewielkimi ilościami powietrza, dla których wskaźnik ΔCO może przekraczać znacznie wartości dopuszczalne przy jednoczesnych niewysokich wartościach wskaźników $\dot{V}_{CO}$ i G, co niejednokrotnie kończy się czasowym otamowaniem rejonu ściany i podjęciem akcji przeciwpożarowej w celu przywrócenia w opływowym prądzie powietrza stężeń gazów w granicach dopuszczalnych.

Możliwe jest jednak obniżenie wartości wskaźnika ΔCO do wartości dopuszczalnych poprzez zintensyfikowanie przewietrzania rejonu ściany i tym samym umożliwienie prowadzenia dalszej nią eksploatacji.

Możliwość zwiększenia strumienia powietrza doprowadzanego do rejonu ściany wiąże się jednak z koniecznością utrzymywania rezerwy powietrza w pochylni przyścianowej. Rezerwę tę można traktować jako dodatkowy sposób prowadzenia profilaktyki pożarowej w ścianach zagrożonych pożarami endogenicznymi.

MINING AREA RESERVE AS THE METHOD OF VENTILATION PRESERVATION IN LONGWALLS AREA WHICH ARE UNDER RISK OF ENDOGENOUS FIRES IN NON-METANE FIELDS

Summary. During endogenous fires fighitng in longwalls, possibility of application of mining area reserve as one of preservation methods has been indicated in this article.

Fire hazard estimation based on indicators specified in mining regulations [12] ΔCO, $\dot{V}_{CO}$ and G is not identical in meaning oftentimes, especially in longwalls venting by small amounts of air. In this case value of ΔCO may be higher than allowed level when values of $\dot{V}_{CO}$ and G may be lower. It leads to surrounding a region by dams and starting up fire-fighting. The aim of such an action is to reduce gas concentration in mining air to allowed values.

Possibility of increase of air stream flowing to longwall area is connected with necessity of maintenance of air reserve in near-longwall incline. This reserve may be considered as additional way of fire prevention in longwalls under endogenous fire risk.

1. Wprowadzenie

Wentylacja kopalń podziemnych jest procesem niezbędnym, zmierzającym do minimalizacji zagrożeń aerologicznych, takich jak zagrożenie metanowe, pożarowe czy klimatyczne. Celem jej jest utrzymanie pożądanego składu chemicznego powietrza oraz jego parametrów fizycznych na całej drodze przepływu wyrobiskami podziemnymi. Dzięki utrzymaniu odpowiednich parametrów powietrza możliwe jest wykonywanie prac przez załogę zatrudnioną w wyrobiskach podziemnych kopalni przy możliwie najwyższym stopniu bezpieczeństwa zdrowia i życia.

Przez odpowiednią organizację przewietrzania wyrobisk górniczych nie tylko wpływa się na poprawę warunków pracy ludzi, ale także ogranicza się w znacznym stopniu skutki eksploatacji górniczej związane z naruszeniem pierwotnej równowagi górotworu.

Doprowadzenie odpowiednich strumieni powietrza do wszystkich wyrobisk podziemnych, a szczególnie do rejonów ścian, wpływa bardzo korzystnie na obniżenie stężenia metanu w powietrzu odprowadzanym z tych rejonów, a także utrzymaniu korzystnych warunków klimatycznych w miejscach pracy.

Niestety, zbyt intensywne przewietrzanie rejonów ścian nie tylko zwiększa zagrożenie wybuchem pyłu węglowego oraz zwiększa niekorzystny wpływ pyłu respirabilnego na układ oddechowy pracowników, ale także zwiększa ryzyko powstania pożaru endogenicznego.

Ryzyko powstania pożaru endogenicznego występuje przede wszystkim w zrobach zawałowych przy przewietrzaniu rejonów ścian w układach, w których występuje intensywne ich „przewietrzanie". Do układów zagrożonych pożarowo można zaliczyć układy przewietrzania na Z, Y, H oraz U do pola, a przy niekorzystnych warunkach górniczo-geologicznych ograniczających prędkość postępu ściany, także układ U od pola [1],[8].

Pożary endogeniczne w polskich kopalniach węgla kamiennego stanowią około 70% wszystkich zdarzeń pożarowych [4]. W ostatnim 25-leciu najwięcej pożarów endogenicznych powstało w zrobach ścian zawałowych. W ostatniej dekadzie ogólna liczba pożarów endogenicznych wyniosła 68, z czego aż 44 powstały na skutek samozapalenia węgla [18].

Pożary endogeniczne powstające w zrobach ścian zawałowych nie stanowią szczególnego zagrożenia dla pracującej załogi. Jednak ze względu na duży zasięg gazów

i dymów pożarowych oraz szybkie ich rozprzestrzenianie w wyrobiskach kopalnianych mogą powodować ogromne straty ekonomiczne związane z koniecznością izolowania rejonu eksploatacyjnego, do którego dopływają, w przypadku przekroczenia dopuszczalnych stężeń gazów pożarowych w opływowym prądzie powietrza przewietrzającego wyrobiska rejonu ściany.

Zwalczanie zagrożenia pożarami endogenicznymi powinno więc być rozpatrywane już w trakcie projektowania rejonu ściany, w której eksploatowany węgiel cechuje się łatwą palnością i dużą skłonnością do samozapalenia [13], a po jej uruchomieniu na bieżąco analizowane aż do jej zlikwidowania.

W trakcie eksploatacji pokładu węgla w układzie ścianowym należy prowadzić szeroko zakrojoną profilaktykę pożarową minimalizującą możliwość powstania pożaru endogenicznego. Nie zawsze jednak istnieje możliwość doboru profilaktyki w sposób najbardziej optymalny i choć stosowane zabiegi profilaktyczne są poprawne, to trwający w zrobach zawałowych proces samozagrzewania może spowodować wypływ gazów pożarowych do opływowego prądu powietrza, powodując wzrost stężeń gazów pożarowych w powietrzu ponad wartości stężeń dopuszczalnych.

W związku z tym korzystne byłoby takie sterowanie procesem przewietrzania rejonu ściany, aby w jak największym stopniu ograniczyć wypływ gazów pożarowych i w jak najkrótszym czasie przywrócić skład chemiczny powietrza w wyrobiskach rejonu ściany do wartości dopuszczalnych.

2. Istota pożaru endogenicznego oraz bieżąca ocena zagrożenia pożarowego

Wielu autorów [5], [13], [14] w publikacjach i monografiach cytuje definicję pożaru podziemnego, powołując się na Rozporządzenie Ministra Gospodarki [12], w następującym brzmieniu:

„Przez pożar podziemny rozumie się występowanie w wyrobisku podziemnym otwartego ognia - żarzącej lub palącej się płomieniem otwartym substancji oraz utrzymywanie się w powietrzu kopalnianym dymów lub utrzymywanie się w przepływowym prądzie powietrza stężenia CO powyżej 0,0026%, jeśli ich przyczyną nie są procesy technologiczne" [12].

Najczęstszymi przyczynami pożarów endogenicznych jest obecność rozdrobnionego węgla skłonnego do niskotemperaturowego utleniania w zrobach zawałowych ścian eksploatacyjnych, dopływ powietrza z dużą zawartością tlenu do miejsca nagromadzenia

węgla w zrobach oraz możliwość akumulacji ciepła wydzielającego się w czasie reakcji utleniania. Równoczesne współistnienie tych trzech czynników może spowodować proces samozagrzewania węgla oraz jego samozapalenie. O ile pierwszy warunek jest związany z naturalnymi właściwościami węgli, to dwa następne zależą przede wszystkim od warunków górniczo-technicznych. Pożar może więc powstać także w pokładzie o małej skłonności do samozapalenia [5]. W latach 1996 – 2005 najwięcej pożarów endogenicznych, bo aż 43%, powstało w pokładach zaliczonych do II grupy samozapalności węgla, natomiast w pokładach IV i V grupy samozapalności było ich w sumie 38%. W tym samym okresie 64% pożarów endogenicznych powstało w rejonach ścian zawałowych, 7% w rejonach ścian podsadzkowych, a 29% poza rejonami eksploatacyjnymi [17]. Liczby te mogą świadczyć o doborze nieodpowiednich systemów eksploatacji lub niewłaściwym przewietrzaniu rejonów wentylacyjnych lub nawet całej kopalni, szczególnie w przypadku prowadzonych ścian w grupach samozapalności małego ryzyka.

W przypadku pożaru endogenicznego objawem rozwijającego się bądź trwającego procesu rozwoju ogniska pożarowego w zrobach zawałowych jest najczęściej „jedynie" przekroczenie stężenia tlenku węgla w opływowym prądzie powietrza, przewietrzającym wyrobiska rejonu ściany. Bardzo rzadko dochodzi do sytuacji, w której w opływowym prądzie powietrza pojawiają się dymy. Niestety ze względu na miejsce lokalizacji ogniska samozapalenia pożary endogeniczne są trudne do ugaszenia, a sama akcja związana z jego gaszeniem jest długotrwała i kosztowna.

W przypadku prowadzenia eksploatacji w pokładach węgla charakteryzujących się skłonnością węgla do samozapalenia [10] przepisy górnicze jednoznacznie określają sposoby i miejsca pobierania prób powietrza kopalnianego oraz sposoby analizy zmian jego składu.

W zależności od miejsca pobierania prób powietrza do oceny aktualnego stanu procesu samozagrzewania węgla w zrobach zawałowych przepisy określają 3 wskaźniki wyznaczane na podstawie wyników analiz prób powietrza:

1. Wskaźnik przyrostu tlenku węgla ΔCO określony wzorem:

$$\Delta CO = CO - CO^X \ [\%], \tag{1}$$

gdzie: CO - procentowa zawartość tlenku węgla na stacji pomiarowej wylotowej,
CO^X - procentowa zawartość tlenku węgla na stacji pomiarowej wlotowej.

2. Wskaźnik ilości tlenku węgla $\dot{V}_{CO}$ określony wzorem:

$$\dot{V}_{CO} = 10\ \dot{V}\ q'_{CO}, \tag{2}$$

gdzie: $\dot{V}$ - ilość powietrza na stacji pomiarowej, m^3/min,

q'_{CO} - stężenie tlenku węgla na stacji pomiarowej wyrażone w procentach.

3. Wskaźnik Grahama G określony wzorem:

$$G = \frac{CO}{(0{,}265 \cdot N_2 - O_2)}, \tag{3}$$

gdzie: CO, N_2, O_2 - procentowe zawartości tlenku węgla, azotu i tlenu na stacji pomiarowej.

Próbki powietrza w celu określenia wskaźników ΔCO i $\dot{V}_{CO}$ pobierane są na stacjach pomiarowych, zlokalizowanych w przypadku ścian zawałowych w prądach przepływowych powietrza dopływających i wypływających z rejonów ścian, natomiast próbki powietrza do określenia wskaźnika Grahama G pobierane są ze zrobów na ich wylocie lub za pomocą węży czy rur zainstalowanych w zrobach [12].

W zależności od wyników analiz prób gazowych pobranych na stacjach pomiarowych przepisy precyzują sposób postępowania przy stwierdzeniu wzrostu wartości wskaźników pożarowych powyżej wartości $O < \dot{V}_{CO} \leq 10$ przy $0{,}0010 < \Delta CO \leq 0{,}0026$ oraz powyżej wartości 0,0025 dla G.

Nie zawsze jednak ocena na podstawie ww. wskaźników jest jednoznaczna. Często, szczególnie dla ścian niemetanowych, które przewietrzane są niedużymi ilościami powietrza w zakresie od 300 do 800 m^3/min wypływ CO ze zrobów ścianowych do powietrza przepływającego wyrobiskami rejonu ściany powoduje znaczny wzrost wartości wskaźników ΔCO i $\dot{V}_{CO}$, wskazując na wzmożony proces samozagrzewania się resztek węgla w zrobach przy jednoczesnym niewysokim wskaźniku G, świadczącym o braku ogniska pożaru endogenicznego. Przykładem takiego stanu mogą być próby gazów zrobowych i powietrza przepływającego przez 2 ściany jednej z kopalń KHW S.A. [3].

Dla ściany 1 wartości wskaźników ΔCO i $\dot{V}_{CO}$ wg przepisów wskazują na konieczność wzmożonej obserwacji w rejonie ściany oraz zwiększenia częstotliwości pobierania prób gazowych, natomiast obliczony wskaźnik Grahama G dopiero od 16.03.2005 wskazuje na konieczność wzmożonej obserwacji atmosfery zrobowej, co związane jest z nagłym wzrostem stężenia tlenu w zrobach ściany. Może to świadczyć o dodatkowym dopływie powietrza z dużą zawartością tlenu do miejsca samozagrzania, a w związku z tym wzrostu stężenia CO.

Tablica 1

Wyniki prób gazowych i wartości wskaźników ΔCO, $\dot{V}_{CO}$ i G dla ściany 1

Data	Wydatek powietrza w ścianie [m³/min]	ΔCO [%]	$\dot{V}_{CO}$ [l/min]	O_2 [%]	CO_2 [%]	CO [%]	CH_4 [%]	G
15.03.2005	350	0,0010	3,5	2,06	6,35	0,0140	2,88	0,0006
16.03.2005	350	0,0012	4,2	11,89	5,19	0,0300	1,02	0,0030
17.03.2005	350	0,0017	5,95	11,84	5,80	0,0420	1,02	0,0043

Przytoczone wartości nie wskazują w żadnym przypadku na proces palenia się w zrobach zawałowych.

Tablica 2

Wyniki prób gazowych i wartości wskaźników ΔCO, $\dot{V}_{CO}$ i G dla ściany 2

Data	Wydatek powietrza w ścianie [m³/min]	ΔCO [%]	$\dot{V}_{CO}$ [l/min]	O_2 [%]	CO_2 [%]	CO [%]	CH_4 [%]	G
26.07.2003	650	0,0028	18	5,11	1,60	0,1800	0,49	0,0093

Dla ściany 2 wskaźnik ΔCO wyznaczony na podstawie pomiarów indykatorowych wskazuje na konieczność otamowania rejonu i rozpoczęcia akcji przeciwpożarowej, choć $\dot{V}_{CO}$ i G wskazują jedynie na potrzebę prowadzenia prac profilaktycznych w celu izolacji miejsca samozagrzania.

Decydującym elementem wpływającym na przebieg procesu samozagrzewania jest czas niezbędny do osiągnięcia przez węgiel temperatury krytycznej w warunkach kopalnianych, powyżej której szybkość samozagrzewania gwałtownie wzrasta. Czas ten wyznacza się na podstawie prognoz bilansu ciepła i masy w zagrzewającym się węglu. W wyniku dalszego procesu utleniania węgiel ulega samozagrzaniu. Dalszy dopływ tlenu do miejsca samozagrzania powoduje szybki wzrost temperatury, a po osiągnięciu temperatury zapłonu równej 250 – 350°C następuje samozapalenie i szybki rozwój pożaru endogenicznego.

W czasie wzrostu temperatury w miejscu samozagrzania substancja palna przechodzi kolejne fazy procesu samozagrzewania, którym towarzyszą charakterystyczne procesy fizyczne i chemiczne, w czasie których do atmosfery kopalnianej wydzielają się charakterystyczne gazy takie, jak: etylen, propylen, acetylen i wodór.

Precyzyjne analizy chromatograficzne wydzielających się śladowych zawartości tych gazów mogą wskazywać na zjawiska fizykochemiczne zachodzące w czasie procesu samozagrzewania takie, jak destylacja fazy ruchomej czy piroliza.

W przypadku szybko postępującego procesu samozagrzewania należy przystąpić do prac profilaktycznych, których celem powinno być ograniczenie zawartości tlenu w zrobach i tym samym deaktywacja zagrzewającego się węgla [2].

3. Prace profilaktyczne stosowane przy pożarach endogenicznych

Wiele kopalń eksploatujących pokłady węgli skłonnych do niskotemperaturowego utleniania stosuje prace profilaktyczne przez cały okres eksploatacji pokładu minimalizując powstanie zagrożenia pożarowego.

Konieczność prowadzenia prac profilaktycznych narzucona jest przez przepisy górnicze [12] w przypadku przekroczenia wartości wskaźników $\dot{V}_{CO}$ i ΔCO w rejonie ściany. Prace profilaktyczne należy prowadzić, gdy wartość wskaźnika ilości tlenku węgla $\dot{V}_{CO}$ zawiera się w zakresie $10 < \dot{V}_{CO} \leq 20$ l/min, przy jednoczesnym przyroście wartości wskaźnika tlenku węgla ΔCO nie przekraczającym 0,0026% dla przepływowych prądów powietrza. W przypadku wskaźnika Grahama G określonego na podstawie prób gazowych ze zrobów ścianowych prace profilaktyczne należy rozpocząć, gdy wartość wskaźnika Grahama znajdzie się w zakresie $0{,}0070 < G \leq 0{,}0300$.

Wykrywanie zmian stężeń gazów pożarowych w rejonach objętych systemami wczesnego wykrywania pożarów dzięki rozmieszczonym czujnikom tlenku węgla, temperatury czy dymu włączonych w dyspozytorski system kontroli zagrożeń metanowo-pożarowych SMP [7] umożliwia szybkie rozpoczęcie działań profilaktycznych.

Pomocne w poszukiwaniu ognisk samozagrzewania węgla w przypadku wyrobisk górniczych są nowoczesne metody termowizyjne [6], za pomocą których można zlokalizować strefy podwyższonej temperatury górotworu na ociosach wyrobisk przyścianowych w stosunku do temperatury przepływającego powietrza, które mogą świadczyć o trwającym procesie samozagrzewania w bezpośredniej bliskości wyrobiska.

Kopalnie stosują różnorodną profilaktykę w celu minimalizacji zagrożenia pożarem endogenicznym.

Najczęściej stosowaną profilaktyką pożarową jest okresowe podawanie do zrobów zawałowych podsadzki hydraulicznej lub odpadów energetycznych, wypełniających pustki i szczeliny w zawale, obniżających lokalnie temperaturę zrobów oraz ograniczających znacznie migrację powietrza z wyrobisk górniczych do przestrzeni zrobowych.

Inne prace profilaktyczne stosowane przez kopalnie to:

- miejscowe podawanie wody do zrobów za pomocą otworów mało- i wielkośrednicowych w pobliżu miejsc potencjalnego wystąpienia samozagrzania lub pożaru endogenicznego w celu wychłodzenia miejsca zagrzania zlokalizowanego na podstawie prób gazowych,
- uszczelnianie calizny węglowej przez wtłaczanie mleczka wapiennego lub spoiwa cementowego w miejscach możliwej migracji powietrza z wyrobisk przyścianowych do zrobów zawałowych,
- uszczelnianie stropów i ociosów wyrobisk przyścianowych poprzez torkretowanie spoiwami mineralnymi takimi, jak: gips czy anhydryt celem ograniczenia przenikania powietrza przez szczeliny w caliźnie węglowej,
- stosowanie doszczelniania zrobów zawałowych substancjami chemicznymi z dodatkiem tzw. antypirogenów wydłużających czas inkubacji pożaru,
- stosowanie środków chemicznych np. pianek chemicznych na bazie żywic mocznikowo-formaldehydowych jako ekranów antypirogenowych za obudową zmechanizowaną w celu odizolowania zrobów zawałowych od powietrza przepływającego wyrobiskiem ścianowym [16],
- stosowanie inertyzacji zrobów zawałowych gazami obojętnymi, takimi jak azot i dwutlenek węgla podawanych w postaci zgazowanej lub ciekłej w celu obniżenia zawartości tlenu w zrobach zawałowych poniżej stężenia pozwalającego na podtrzymanie procesu palenia oraz miejscowego schłodzenia zrobów zawałowych w miejscu podawania gazu [19],

W czasie prowadzenia prac profilaktycznych kopalnie zwiększają także częstotliwość pobierania prób powietrza w miejscach prawdopodobnego wypływu gazów pożarowych, a także określają szczegółowy skład tych gazów na podstawie precyzyjnej analizy chromatograficznej, prowadzonej przez wyspecjalizowane jednostki badawcze, jak GIG czy CSRG.

Najczęściej jednak prowadzenie prac profilaktycznych kopalnie rozpoczynają dopiero po wykryciu oznak wskazujących na postępujący proces samozagrzewania lub nawet trwający już pożar endogeniczny. W takim przypadku zakres koniecznych do zastosowania prac profilaktycznych jest dość obszerny i tym samym kosztowny.

Aby ograniczyć do minimum możliwość powstania pożaru endogenicznego kopalnie powinny przyjąć odpowiedni plan i zakres prac profilaktycznych już w czasie projektu

technicznego eksploatacji pokładu. Przyczyni się to do wypracowania przez kopalnię odpowiedniej taktyki prowadzenia eksploatacji przy równoczesnym zapobieganiu rozwoju zagrożenia pożarowego jeszcze przed jego wystąpieniem.

Zakres prac profilaktycznych ujęty w projekcie technicznym eksploatacji powinien dotyczyć niewątpliwie nie tylko pokładów węgla należących do III, IV i V grupy samozapalności, ale także pokładów węgla należących do II grupy samozapalności, dla której odsetek pożarów endogenicznych w ostatniej dekadzie był najwyższy [17].

4. Rezerwa powietrza jako zabezpieczenie przed skutkami pożaru endogenicznego

Stosowanie odpowiednio dobranej profilaktyki pożarowej w wielu przypadkach jest zupełnie wystarczającym sposobem znacznego ograniczenia lub nawet całkowitego wykluczenia zagrożenia pożarem endogenicznym. Niejednokrotnie zachodzą jednak sytuacje, w których stosowanie poprawnie dobranej profilaktyki pożarowej nie zabezpiecza całkowicie przed możliwością wystąpienia lokalnych miejsc samozagrzania lub nawet pożaru endogenicznego w zrobach.

W przypadku wyczerpania się możliwości zastosowanej profilaktyki lub w przypadku, gdy stosowana profilaktyka okazała się nieskuteczna, korzystne może okazać się wykorzystanie rezerwy powietrza utrzymywanej w rejonie.

Ogólnie rezerwa w sieci wentylacyjnej może być rezerwą wentylacyjną pasywną lub aktywną. Rezerwa pasywna jest realizowana w sieci wentylacyjnej przez stworzenie nadmiaru powietrza w jednym, kilku lub wszystkich obiektach przewietrzania. W przypadku stosowania rezerwy pasywnej zbędne jest wykonywanie dodatkowych manewrów urządzeniami wentylacyjnymi. Obiekty przewietrzania same wykorzystają w razie potrzeby istniejący nadmiar powietrza. Niestety, utrzymanie rezerwy pasywnej jest nieekonomiczne.

Obecnie kopalnie stosują najczęściej rezerwę wentylacyjną aktywną gorącą, którą stanowi w sieci wentylacyjnej produktywnie niewykorzystane powietrze, które jedynie w razie potrzeby kierowane jest do obiektu przewietrzania. Aby jednak skierować dodatkowe powietrze do obiektu przewietrzenia, wymagany jest niestety manewr tamami wentylacyjnymi.

W przypadku ścian, w których występuje zagrożenie pożarami endogenicznymi, można wykorzystać rezerwę aktywną gorącą, która ulokowana byłaby w przypadku ścian prowadzonych w układzie U od pola, w pochylni między chodnikami przyścianowymi [9].

Zagrożenie pożarem endogenicznym wymusza stosowanie jak najmniejszych ilości powietrza niezbędnego do przewietrzenia wyrobisk rejonu ściany ze względu na konieczność ograniczenia migracji części powietrza dopływającego do ściany przez zroby zawałowe.

Można mówić więc o kryterium minimalizacji ilości powietrza niezbędnego do przewietrzenia wyrobisk rejonu ściany. Niezbędną ilość powietrza, którą należy doprowadzić do rejonu ściany, można obliczyć na podstawie normy PN-G-05024 [11]. W przypadku gdy w ścianie występowałoby jedynie zagrożenie pożarowe przy braku innych zagrożeń wentylacyjnych, minimalną, niezbędną ilość powietrza w ścianie stanowiłaby wartość obliczona na podstawie kryterium minimalnej dopuszczalnej prędkości powietrza w danym wyrobisku.

W przypadku występowania dodatkowo zagrożenia metanowego lub temperaturowego należałoby poszukiwać odpowiedniej, niezbędnej ilości powietrza do przewietrzenia rejonu ściany poprzez zastosowanie metody polioptymalizacji ze względu na przeciwstawne kryteria jakości związane z zapotrzebowaniem powietrza w wyrobiskach rejonu ściany, dotyczące występujących zagrożeń [15].

Wykorzystanie rezerwy wentylacyjnej dotyczyłoby sytuacji, w której przez ścianę prowadzoną w układzie U od pola przepływałaby niewielka ilość powietrza, niezbędna jednak do zapewnienia wymaganej przepisami prędkości powietrza w wyrobiskach rejonu ściany, a także utrzymania dopuszczalnych stężeń gazów wydzielających się w czasie prowadzonej eksploatacji.

Sytuacja taka może dotyczyć ścian eksploatujących pokłady o niewielkiej miąższości, dla których mały przekrój wyrobiska ścianowego o wielkości 5-8 m^2 stanowi ograniczenie dla ilości powietrza doprowadzanego do ściany ze względu na jego prędkość. Ilość powietrza doprowadzana w takim przypadku do ściany może wynosić około 600 m^3/min.

Ze względu na ograniczenia ilości powietrza przepływającego przez ścianę może nastąpić przekroczenie wskaźnika przyrostu tlenku węgla ponad granicę dopuszczalną przepisami $\Delta CO > 0{,}0026\%$. O ile przekroczenie to byłoby chwilowe, trwające nie dłużej jak 0,5 godz., byłoby dopuszczalne. Problemem natomiast byłoby dłuższe utrzymywanie się wartości wskaźnika przyrostu tlenku węgla powyżej granicy 0,0026%. Sytuacja taka zmusiłaby kopalnię do otamowania rejonu ściany i rozpoczęcia akcji przeciwpożarowej, choć pożar mógłby nie mieć miejsca.

Sytuacja taka mogłaby wystąpić w przypadku, gdy w zrobach zawałowych znajdowałoby się lokalne ognisko zagrzania węgla o znacznej powierzchni jego kontaktu z przepływającym przez zroby powietrzem, jednak nie będące jeszcze ogniskiem pożaru endogenicznego stwierdzonym na podstawie wskaźnika Grahama. Przykładem może być następująca sytuacja.

Ściana X przewietrzana jest powietrzem w ilości $\dot{V}_s$=600 m^3/min. W powietrzu przepływającym przez ścianę nastąpił wzrost wartości wskaźnika ΔCO do wartości 0,0030%, co przy ilości powietrza przepływającej przez ścianę $\dot{V}_s$=600 m^3/min daje dopływ $\dot{V}_{CO}$, wynoszący:

$$\dot{V}_{CO} = 10\ \dot{V}_s \cdot q'_{CO} = 10 \cdot 600 \cdot 0{,}0030 = 18\ \text{l/min} \tag{4}$$

Dodatkowo na podstawie analiz gazów zrobowych obliczono wartość wskaźnika Grahama, która wynosiła G=0,0080. Na podstawie przepisów kopalnia powinna rozpocząć akcję przeciwpożarową, ze względu na przekroczenie wskaźnika ΔCO, choć wskaźniki $\dot{V}_{CO}$ i G wskazywały jedynie na konieczność prowadzenia prac profilaktycznych przy zachowaniu normalnego ruchu w zagrożonym rejonie.

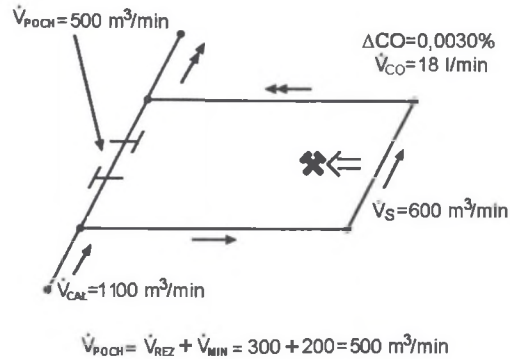
W takim właśnie przypadku pomocne może okazać się wykorzystanie rezerwy wentylacyjnej powietrza ulokowanej w pochylni między chodnikami przyścianowymi. Wykonanie manewru regulacyjnego tamami wentylacyjnymi zabudowanymi w pochylni i skierowanie części rezerwy powietrza do ściany może skutecznie obniżyć wartość wskaźnika ΔCO poniżej górnej granicy dopuszczalnej.

Dla przytoczonego przykładu w celu obniżenia wartości wskaźnika ΔCO do wartości np. ΔCO=0,0020% należy doprowadzić do ściany powietrze w ilości:

$$\dot{V}_S = \frac{\dot{V}_{CO}}{10 \cdot \Delta CO} = \frac{18}{10 \cdot 0{,}0020} = 900\text{m}^3/\text{min} \tag{5}$$

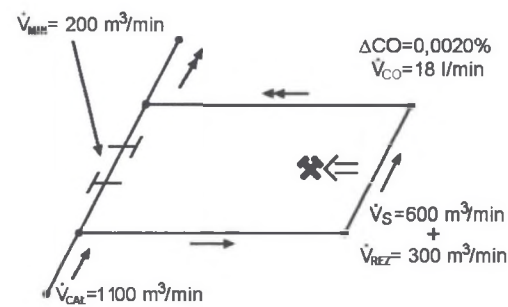
Widać więc, że aby obniżyć wartość wskaźnika ΔCO do wartości ΔCO=0,0020%, należałoby utrzymywać dodatkowo 300 m^3/min powietrza jako rezerwę rejonową. Rezerwa ta będzie jednak dodatkową ilością powietrza przepływającego pochylnią, którą można będzie przerzucić do ściany. Pozostała część powietrza w pochylni musi pokryć jej zapotrzebowanie ze względu na co najmniej minimalną dopuszczalną prędkość przepływającego pochylnią powietrza. Gdyby więc ilość ta wynosiła np. 200 m^3/min, to całkowita ilość powietrza przepływającego w pochylni musiałaby wraz z rezerwą wynosić 500 m^3/min.

Omówiony przykład przedstawiają rysunki 1. i 2.



Rys. 1. Rozpływ powietrza w przykładowym rejonie eksploatacyjnym wraz z wartościami wskaźników ΔCO i $\dot{V}_{CO}$ przed przerzuceniem rezerwy do ściany

Fig.1. Air distribution in sample of mining area. Values of ΔCO i $\dot{V}_{CO}$ indicators before moving reserve to a longwall



Rys. 2. Rozpływ powietrza w przykładowym rejonie eksploatacyjnym wraz z wartościami wskaźników ΔCO i $\dot{V}_{CO}$ po przerzuceniu rezerwy do ściany

Fig. 2. Air distribution in sample of mining area. Values of ΔCO i $\dot{V}_{CO}$ indicators after moving reserve to a longwall

Utrzymywanie rezerwy powietrza w rejonie ściany w celu zapewnienia dopuszczalnych stężeń gazów zrobowych wydzielających się w procesie samozagrzewania do wyrobiska ścianowego i wyrobisk przyścianowych ma sens w przypadku doprowadzania do ściany powietrza w maksymalnej ilości wynoszącej około 770 m^3/min.

Ilość ta wynika z przepisów, które określają maksymalną dozwoloną wartość wskaźnika ilości tlenku węgla $\dot{V}_{CO}$ równą 20 l/min w powietrzu przepływającym przez ścianę i wyrobiska przyścianowe, w przypadku prowadzenia prac profilaktycznych przy utrzymaniu wartości wskaźnika przyrostu tlenku węgla ΔCO równego maksymalnie 0,0026%.

Przekształcając wzór obliczeniowy na wskaźnik $\dot{V}_{CO}$ (2) do postaci:

$$\dot{V} = \frac{\dot{V}_{CO}}{10 \cdot q'_{CO}} \tag{6}$$

oraz przyjmując $q'_{CO} = \Delta CO$, można obliczyć graniczną ilość powietrza doprowadzaną do ściany dla przyjętych maksymalnych, dopuszczalnych wartości wskaźników $\dot{V}_{CO}$ i ΔCO, wynoszącą:

$$\dot{V}_{GR} = \frac{\dot{V}_{CO}}{10 \cdot \Delta CO} \cong 770 m^3/min \tag{7}$$

Przewietrzanie ściany większą ilością powietrza $\dot{V}_S > \dot{V}_{GR}$, przy uzyskaniu granicznej wartości dopuszczalnej stężenia CO w ścianie wynoszącego q'_{CO}=0,0026%, pociąga za sobą wzrost wskaźnika $\dot{V}_{CO}$ ponad 20 l/min, co może świadczyć o rozwijającym się ognisku pożarowym i konieczności rozpoczęcia akcji przeciwpożarowej.

Przykładem może być sytuacja, w której przez ścianę przepływa 900 m^3/min powietrza, a stężenie CO na wylocie ze ściany osiągnęło wartość q'_{CO}=0,0026%. Obliczona ilość dopływającego do wyrobiska CO wynosi zatem:

$$\dot{V}_{CO} = 10\ \dot{V}\ q'_{CO} = 10 \cdot 900 \cdot 0{,}0026 = 23{,}4\ l/min, \tag{8}$$

dla której należałoby zaizolować rejon ściany i rozpocząć akcję przeciwpożarową.

Dla tak obliczonej granicznej ilości powietrza doprowadzanego do ściany, równej $\dot{V}_{GR}$=770 m^3/min, można obliczyć maksymalną, niezbędną rezerwę doprowadzaną do ściany w celu obniżenia stężenia CO w powietrzu przy zachowaniu granicznej dopuszczalnej ilości CO wynoszącej 20 l/min.

Rezerwę wentylacyjną można obliczyć przy założeniu obniżenia stężenia CO w powietrzu przepływającym wyrobiskami rejonu ściany do wartości bezpiecznej równej np q'_{CO}=0,0020%. Przy takim ograniczeniu wartość rezerwy będzie wynosić:

$$\dot{V}_{REZ} = \frac{\dot{V}_{CO}'}{10 \cdot q''_{CO}} - \dot{V}_S = \frac{20}{10 \cdot 0{,}0020} - 770 = 230 m^3/min, \tag{9}$$

gdzie: $\dot{V}_{CO}'$ – maksymalna dopuszczalna ilość CO w powietrzu przepływającym przez wyrobiska rejonu ściany równa 20 l/min,

q''_{CO} – stężenie tlenku węgla po rozrzedzeniu dodatkową ilością powietrza,

$\dot{V}_S$ – ilość powietrza w ścianie w czasie normalnego jej przewietrzania.

Obliczona rezerwa wynosząca 230 m^3/min stanowi około 30% ilości powietrza w stosunku do granicznej ilości powietrza w ścianie wynoszącej $\dot{V}_{GR}$=770 m^3/min.

Wartość rezerwy będzie zmienna w zależności od oczekiwanego stężenia CO po doprowadzeniu dodatkowej ilości powietrza do ściany. Im oczekiwane stężenie CO po rozrzedzeniu będzie niższe, tym rezerwa niezbędna do doprowadzenia do ściany będzie musiała być większa. Aby więc móc rozrzedzić dopływający do wyrobiska tlenek węgla korzystne byłoby utrzymywanie poza ścianą rezerwy wynoszącej około 50% ilości powietrza dopływającego do ściany w czasie normalnego jej przewietrzania.

Należy jednak liczyć się z tym, że doprowadzanie przez dłuższy okres czasu zwiększonej ilości powietrza do ściany zwiększy także możliwość dopływu powietrza bogatego w tlen do zrobów ścianowych i tym samym przyspieszy proces zagrzewania już i tak zagrzanych lokalnie resztek węgla w zawale.

Manewr przerzucenia rezerwy z pochylni do ściany powinien być szczegółowo przeanalizowany, czy nie wpłynie na wzrost zagrożenia pożarowego w zrobach i wprowadzony może być jedynie na krótki okres czasu, umożliwiający szybkie odsunięcie lokalnie zagrzanych resztek węgla w zrobach od strefy migracji powietrza do nich dopływającego. Czas ten powinien posłużyć do przeprowadzenia dodatkowych prac profilaktycznych izolujących lokalnie ognisko zagrzania oraz zwiększenia postępu ściany w celu jak najszybszego odsunięcia ścieżki ściany od miejsca zagrzania.

5. Podsumowanie

Przedstawiony w artykule pogląd, wskazujący na korzystne utrzymywanie rezerwy w rejonach ścian zagrożonych pożarami endogenicznymi i możliwość przerzucenia jej do ściany, ma wskazać na możność dłuższego prowadzenia eksploatacji ścianą w przypadku wzrostu zagrożenia pożarowego. Możliwość ta powinna być jednak brana pod uwagę jedynie w ścianach, w których nie stwierdza się oznak świadczących o aktywnym procesie palenia się substancji w zrobach zawałowych.

Wykorzystanie rezerwy powietrza w rejonie ściany jako dodatkowego zabezpieczenia przed wypływem CO w przypadku przekroczeń wartości dopuszczalnych stwarza szanse utrzymania ruchu ściany bez konieczności tamowania rejonu i rozpoczęcia akcji przeciwpożarowej.

Rezerwę tę należy traktować jako dodatkowy prąd doświeżający, który można przerzucić do ściany w przypadku wzmożonego wypływu CO ze zrobów zawałowych, jednak jedynie na krótki okres czasu, umożliwiający przeprowadzenie dodatkowej profilaktyki w celu

ograniczenia rozwoju ogniska samozagrzewania w zrobach. Stosowana w takiej formie rezerwa ma sens jednak jedynie w przypadku ścian prowadzonych w polach niemetanowych, do których doprowadzana ilość powietrza nie przekracza 770 m^3/min.

Utrzymywanie rezerwy w rejonach ścian przewietrzanych większymi strumieniami powietrza może być nieopłacalne w przypadku, gdy zarówno stężenie CO jak i jego ilość dopływająca do wyrobisk rejonu ściany zostaną przekroczone ponad górny dopuszczalny poziom. W takim przypadku konieczne będzie przeprowadzenie akcji przeciwpożarowej, wiążące się z czasowym otamowaniem rejonu i rozpoczęciem szeroko zakrojonej profilaktyki przeciwpożarowej.

LITERATURA

1. Barth W.: Einfluss der zusatz bewetterung und der Y-Bewetterung auf die Strebwettermenge. Glückauf 110 (1974) Nr 5.
2. Cygankiewicz J., Krause E.: Kryteria warunkujące bezpieczeństwo prowadzenia eksploatacji w pokładach silnie metanowych i zagrożonych pożarami endogenicznymi na przykładzie ściany nr 9 w pokładzie 405/2 w Kopalni „Sośnica". Prace Naukowe GIG – Górnictwo i Środowisko. Kwartalnik Nr 2/2005, Katowice 2005.
3. Dane pomiarowe prób gazów kopalnianych.
4. Krzystanek Z., Wasilewski S.: Analiza wypadków i katastrof spowodowanych zagrożeniem metanowym i pożarowym w polskim górnictwie. Prace Centrum Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa EMAG, z.1, Katowice 1994.
5. Maciejasz Z., Kruk F.: Pożary podziemne w kopalniach. Cz. 1., „Śląsk", Katowice 1997.
6. Matuszewski K., Nowak J.: Przykłady wykrywania ognisk samozagrzewania się węgla w wyrobiskach górniczych KWK „Bielszowice" za pomocą pomiarów termowizyjnych, Materiały 4 Szkoły Aerologii Górniczej, Kraków 2006.
7. Mironowicz Z., Wasilewski S.: System SMP kontroli zagrożeń metanowo-pożarowych. Miesięcznik WUG nr 10/1996, Katowice 1996.
8. Musioł D.: Analiza układów przewietrzania rejonów ścian w podsieciach wentylacyjnych w aspekcie zagrożenia metanowego, pożarowego i termicznego. Wiadomości Górnicze Nr 6/2000, Katowice 2000.
9. Musioł D., Sułkowski J.: Harmonogramowanie ilości powietrza w rejonach eksploatacyjnych jako sposób ograniczenia kosztów związanych z przewietrzaniem kopalń węgla kamiennego. Materiały 3. Szkoły Aerologii Górniczej, Zakopane 2004.
10. Polska Norma PN-93/G-04558 Węgiel kamienny. Oznaczenia wskaźnika samozapalności. Wydawnictwa Normalizacyjne, Warszawa 1993.
11. Polska Norma PN-G-05024 Przewietrzanie podziemnych wyrobisk górniczych. Wytyczne obliczania niezbędnej ilości powietrza. Wydawnictwa Normalizacyjne, Warszawa 1999.
12. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych, DzU Nr 139, poz. 1169.
13. Strumiński A.: Zwalczanie pożarów w kopalniach głębinowych. „Śląsk", Katowice 1996.

14. Sułkowski J.: Wentylacja jako sposób poprawy warunków pracy ludzi i eksploatacji urządzeń w strefach niebezpiecznych (na przykładzie kopalń węgla), III Konf. Nauk.-Techn. „Zona 1999", Międzyzdroje 1999.
15. Sułkowski J., Musioł D.: Wykorzystanie metody polioptymalizacji do obliczenia rozpływu powietrza w restrukturyzowanej kopalni węgla kamiennego. Materiały 2. Szkoły Aerologii Górniczej, Zakopane 2002.
16. Trenczek S.: Możliwości poprawy skuteczności profilaktyki przeciwpożarowej przy pomocy piany antypirogenicznej w zrobach zawałowych ściany, prowadzonej w warunkach zagrożeń skojarzonych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 261, Gliwice 2004.
17. Trenczek S.: Wybrane zagadnienia dystymulacji procesu samozagrzewania węgla. Materiały 4. Szkoły Aerologii Górniczej, Kraków 2006.
18. WUG informacje o zagrożeniach naturalnych http://www.wug.gov.pl
19. Zasady prowadzenia akcji ratowniczych i prac profilaktycznych z wykorzystaniem gazów inertnych, Centralna Stacja Ratownictwa Górniczego, Bytom 2002.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Andrzej Strumiński