dr inż. STANISŁAW TRENCZEK
Instytut Technik Innowacyjnych EMAG

Rozszerzenie kontroli w rejonach ścian wydobywczych o pomiary ciśnienia w aspekcie zagrożenia wybuchowego

Przypomniano zdarzenie zapalenia i wybuchu metanu zaistniałe w kopalni „Borynia" oraz przyjęte hipotetyczne przyczyny. Omówiono wnioski Komisji (powołanej do zbadania przyczyn i okoliczności zdarzenia) związane z rejestracją ciśnienia. Przedstawiono sposób zastosowania nowego systemu kontroli poziomu barometrycznego w rejonach ścian wydobywczych zagrożonych wybuchem. Scharakteryzowano zalecenia w zakresie przyrządów pomiarów ciśnień, w tym wymagania w zakresie ich parametrów oraz lokalizacji.

1. WPROWADZENIE

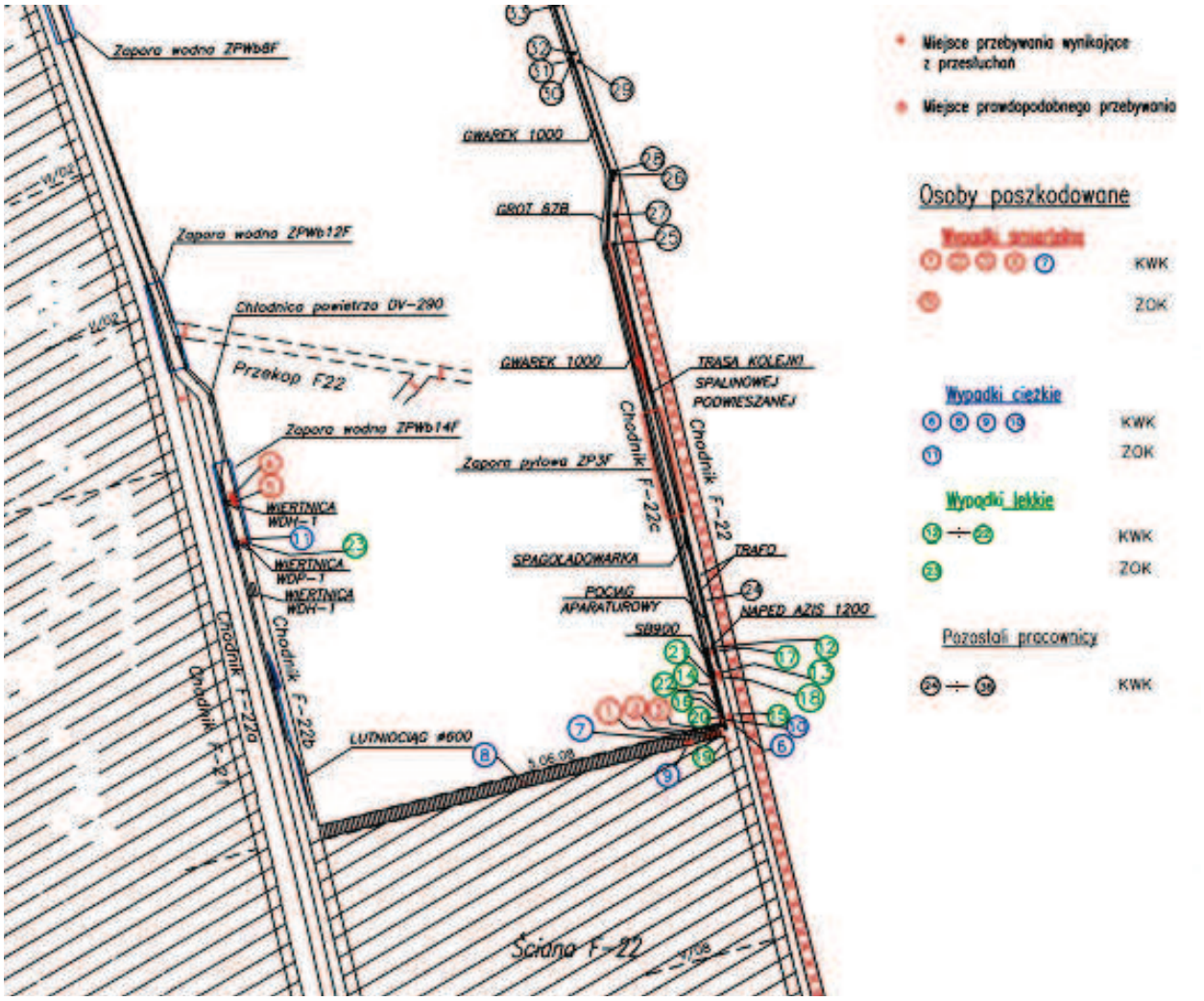
W dniu 4 czerwca 2008 r. około godziny 22^{38} w oddziale G-2 w rejonie ściany F-22 w pokładzie 405/1łg kopalni „Borynia" – należącej do Jastrzębskiej Spółki Węglowej – miało miejsce zapalenie i wybuch metanu. W strefie zagrożenia znajdowało się 36 pracowników, z których wypadkowi zbiorowemu uległo 23 pracowników, w tym 6 pracowników doznało obrażeń śmiertelnych, 5 obrażeń ciężkich oraz 12 pracowników doznało lekkich obrażeń ciała [6]. Poszkodowani to 19 pracowników KWK „Borynia" i 4 pracowników firmy ZOK, prowadzącej prace związane z odmetanowaniem rejonu ściany F-22 (rys. 1).

W rejonie ściany F-22 pokład 405/1łg zaliczony był do III kategorii zagrożenia metanowego, klasy B zagrożenia wybuchem pyłu węglowego, I stopnia zagrożenia wodnego, kategorii A i B zagrożenia działaniem pyłów szkodliwych dla zdrowia. Pokład był niezagrożony radiacyjne naturalnymi substancjami promieniotwórczymi, a zagrożenie tąpaniami nie występowało. Ponadto pod względem zagrożenia pożarem endogenicznym był zakwalifikowany do II grupy samozapalności – z okresem inkubacji pożaru wynoszącym τ_{ink}=70 dni, a pod względem zagrożenia klimatycznego do III poziomu krytycznego (t_{pg} = 41÷43°C).

Prognoza metanowości bezwzględnej dla wydobycia 2800 Mg/dobę wynosiła 22,45 m^3 CH_4/min. Ściana F-22 przewietrzana była system na *U*, z dopływem powietrza świeżego chodnikiem F-22 i chodnikiem F-22c o wydatku 1500 m^3/min i odpływem chodnikami F-22b i F-22a (rys. 1).

2. USTALENIA Z PRAC KOMISJI

Ponieważ dochodzenia prokuratury i postępowania wyjaśniające przeprowadzone przez nadzór górniczy pewne fakty ustaliły, a pewnych zagadnień nie wyjaśniły nie można było w sposób jednoznaczny określić inicjału i przebiegu zdarzenia [6]. Dotyczy to przede wszystkim niespójności zeznań w zakresie miejsca przebywania jednego z poszkodowanych – przodowego brygady wiertniczej. Zeznał on bowiem, że w chwili zdarzenia siedział w chodniku F-22b na wysokości zbioru XVII razem ze swym współpracownikiem, czego nie potwierdzają takie fakty jak między innymi to, że współpracownik ten został ciężko poparzony (m.in. oparzenie głowy, tułowia, kończyn górnych i dolnych) i został znaleziony w czasie akcji



Rys. 1. Prawdopodobna lokalizacja poszkodowanych w rejonie ściany F-22 w chwili zapalenia i wybuchu metanu w dniu 04.06.2008 r. o godz. 22^{38} [wg 6]

ratowniczej w zawodnionym miejscu chodnika F-22b, gdzie się chłodził, natomiast przodowy doznał obrażeń lekkich (m.in. złamania uda), nie jest poparzony, a znaleziono go w ścianie F-22. Ponadto według zeznania kierownika akcji na dole, przodowy ten powiedział – po wytransportowaniu go do bazy ratowniczej zlokalizowanej na poziomie 838 m, że „w momencie zdarzenia znajdował się w rejonie skrzyżowania ściany z chodnikiem nadścianowym, zauważył „coś niebezpiecznego" w chodniku nadścianowym i zaczął uciekać do ściany pod prąd powietrza". Inne istotne fakty, między innymi takie jak:

– zapisy czujnika prędkości powietrza przepływającego przez ścianę z dnia 4 czerwca 2008 r., wykazujące że:
  – do godz. 22.04 prędkość wahała się w granicach od 1,0 m/s do 1,4 m/s, w tym miały miejsce liczne ostrzeżenia (razem 78), a od godziny 18.00 do momentu zdarzenia prędkość powietrza osiągała przez cały czas próg ostrzegawczy,
  – o godzinie 22.05 trwał przez 4 minuty alarm, gdy prędkość powietrza spadła do 0,5 m/s,
  – o godzinie 22.38 czujnik zarejestrował rewersję powietrza,
– zapisy wskazań czujników BT-153 i BT-152 otwarcia tam zabudowanych w chodniku F-20 i pochylni F-22 w pokładzie 405/1, z których wynikało, że:
  – najdłuższy czas otwarcia tamy w pochylni F-22 w pokładzie 405/1 (BT-152) odnotowano od godziny 8.46 do 9.16 (30 minut),
  – najdłuższy czas otwarcia tamy w chodniku F-20 w pokładzie 405/1 (BT-153) odnotowano od godziny 21.22 do 22.07 (45 minut),
  – równoczesne otwarcie tam miało miejsce w godzinach 22.03-22.06,
– wyniki analiz prób gazów pobieranych dla wczesnego wykrywania pożarów endogenicznych, potwierdzające występowanie tlenku węgla za tamami odgradzającymi w chodniku F-22b oraz tlenu o zawartości kilkunastu procent za tamami izolującymi zroby,

Fot. 1. Uszkodzony przewód [wg 5]

Fot. 2. Uszkodzenie zapory wodnej [wg 5]

– brak zapisów parametrów pracy stacji odmetanowania w okresie poprzedzającym zdarzenie, który to fragment taśmy rejestracyjnej został wycięty (bez polecenia) i pozostawiony w „bezpiecznym miejscu", lecz w niewyjaśnionych okolicznościach zaginął,
– stwierdzenie uszkodzonego przewodu elektroenergetycznego, zasilającego wyłącznik stycznikowy agregatu hydraulicznego wiertnicy na zbiorze nr XVIII w chodniku F-22b (fot. 1),
– rodzaj uszkodzeń zapory przeciwwybuchowej workowej, zabudowanej w chodniku F-22b w odległości od 128 do 167 m od ściany F-22, charakteryzujący się śladami opalenia worków wodnych na północ i południe od strefy zlokalizowanej około 140 m od ściany F-22 (fot. 2), w tym przemieszczenie worków wodnych w kierunku ściany F-22, z których najdalszy od miejsca zabudowy zapory zlokalizowano 55 m od ściany,
– nieszczelność na rurociągu odmetanowania, zlokalizowana przy kolektorze znajdującym się w chodniku F-22b w odległości około 108 m od ściany, który został podparty podkładami (fot. 3), co świadczyło o tym, że rozszczelnienie musiało mieć miejsce przed zdarzeniem,
– stosowanie klejów w ściany F-22 – na dzień przed zdarzeniem – dwuskładnikowego kleju poliuretanowego „PUROSTAT AS", w ilości 78 kg, dla uszczelnienia szczelin uskokowych występujących na wybiegu ściany, w rejonie sekcji 78 i 80, w związku z przypinaniem łaty węgla o grubości od 0,5 do 1,1 m po stronie skrzydła wiszącego uskoku,

zostały uwzględnione w trzech przyjętych hipotezach [6]. Wykorzystano też analizy stanu zagrożenia pożarami endogenicznymi [1] i zagrożenia metanowego [2].

Fot. 3. Rozszczelnienie rurociągu [wg 5]

3. HIPOTEZY PRZEBIEGU ZDARZEŃ

W przyjętych hipotezach [7] uwzględniono, że wystąpił wpływ czynników zakłócających stan równowagi pomiędzy wyrobiskami z opływowym prądem powietrza a zrobami, wynikający zarówno z rozkładu pola potencjałów aerodynamicznych, jak i oddziaływania depresji stacji odmetanowania. Podobnie też uważano, że stan równowagi mógłby być zaburzony:

– zmianą – faza dynamiczna – w przepływie powietrza w rejonie ściany,
– lub/i spadkiem depresji stacji odmetanowania, także zatrzymaniem pracy stacji,
– lub/i zmniejszeniem ujmowania gazu z otworów poprzez ich częściowe lub całkowite odcięcie od depresji stacji odmetanowania (przykręcenie lub zamknięcie zaworu przy kolektorze).

Punktem wyjścia każdej hipotezy jest skumulowanie, na około 40 minut przed zdarzeniem, co najmniej dwóch niekorzystnych czynników powodujących zakłócenie istniejącego stanu równowagi gazów w zrobach zawałowych ściany F-22, to jest:

– zaburzenia przepływu powietrza przez ścianę spowodowanego, najpierw – od godz. 21.22 do godz. 22.07 – otwarciem tamy wentylacyjnej w chodniku F-20 w pokładzie 405/1, a następnie – w godzinach 22.02-22.06 – „krótkim spięciem wentylacyjnym" na skutek jednoczesnego otwarcia tam wentylacyjnych zabudowanych w pochylni F-22 i chodniku F-20, kiedy to prędkość powietrza przepływającego przez rejon ściany F-22 zmniejszyła się do 0,5 m/s,
– rozszczelnienie – prawdopodobnie również około godz. 22.00-22.10 – rurociągu odmetanowania w chodniku F-22b w odległości około 109 m przed ścianą F-22, w związku z czym wystąpił spadek depresji na stacji odmetanowania.

W hipotezie pierwszej przyjęto, że krótko przed zdarzeniem doszło do pożaru endogenicznego szczelinowego w „płocie" węgla znajdującego się na południe od frontu ściany. Gazy będące produktem wcześniejszej fazy samozagrzewania węgla, jak i pożaru endogenicznego szczelinowego przepływać mogły w kilku różnych kierunkach [4] – przede wszystkim do bardzo pojemnych zrobów – przez co niemożliwe było wcześniejsze ich wykrywanie. Konsekwencją zaburzeń wentylacyjnych mieszanina metanowo-powietrzna o stężeniu wybuchowym utrzymująca się w zrobach zawałowych ściany F-22, a w szczególności na odcinku pomiędzy ostatnią sekcją obudowy zmechanizowanej a sekcją nr 90, mogła się rozszerzyć i dopłynąć do miejsca pożaru.

W hipotezie drugiej przyjęto, że wtłaczaniu kleju poliuretanowego „PUROSTAT AS" (w dniu 3 czerwca 2008 r.) w rejon uskoku zlokalizowanego na wybiegu ściany F-22 – na wysokości sekcji obudowy ścianowej nr 78 i 80 – towarzyszyć mogły czynniki sprzyjające powstaniu inicjału zapalenia i wybuchu metanu. Mianowicie klej mógł przepłynąć poprzez szczelinę uskokową do zawału (zrobów), czyli za sekcje obudowy ścianowej i tam utworzyć większą objętościowo masę („bryłę") spoiwa. Ponadto mogły wystąpić dodatkowo inne, niekorzystne czynniki, takie jak nieprawidłowy skład chemiczny komponentów, niewłaściwa proporcja mieszania komponentów, znaczne zawilgocenie górotworu przyspieszające czas reakcji wiązania, co generować mogło temperaturę wiązania komponentów dużo wyższą niż 160°C. Wysoka temperatura w zrobach – zbliżona do temperatury pierwotnej górotworu, wynoszącej około

40-43^{o}C – znacząco opóźniała proces stygnięcia spoiwa, szczególnie zaś jego jądra, co mogło wpłynąć na rozwój procesu samozagrzewania prowadzący do samozapalenia spoiwa.

Przyjęto też, że nie wykrycie objawów pożaru sugeruje, iż do samozapalenia spoiwa musiałoby dojść tuż przed zdarzeniem. Potwierdzają to badania kleju poliuretanowego przeprowadzone we Francji [10], które na niewielkiej próbce kleju pokazały, że do pożaru może dojść w czasie od 3 do 6 godzin po zakończeniu prac iniekcyjnych. W omawianym przypadku ilość zastosowanego kleju była większa od ilości badanej, przez co nie można wykluczyć, że do samozapłonu mogło dojść później. Tym bardziej, że „bryła" spoiwa znajdowała się w zrobach, gdzie temperatura była znacznie wyższa niż w opływowym prądzie powietrza, do którego odnoszą się badania. Zatem hipotezę to uprawdopodabnia.

W fazie statycznej równowagi wentylacyjnej pomiędzy wyrobiskami z przepływowym, ustabilizowanym prądem powietrza a zrobami ściany F-22, połączonych ze zrobami pozostałych ścian w pokładzie 405/1 i zrobami pokładu 404/1 – mieszanina metanowo-powietrzna o stężeniach wybuchowych, znajdująca się w zrobach, nie sięgała miejsca samozagrzewania spoiwa kleju „PUROSTAT AS" rozwiniętego później do jego samozapłonu i palenia się. Najprawdopodobniej znajdowała się ona stosunkowo blisko chodnika F-22b.

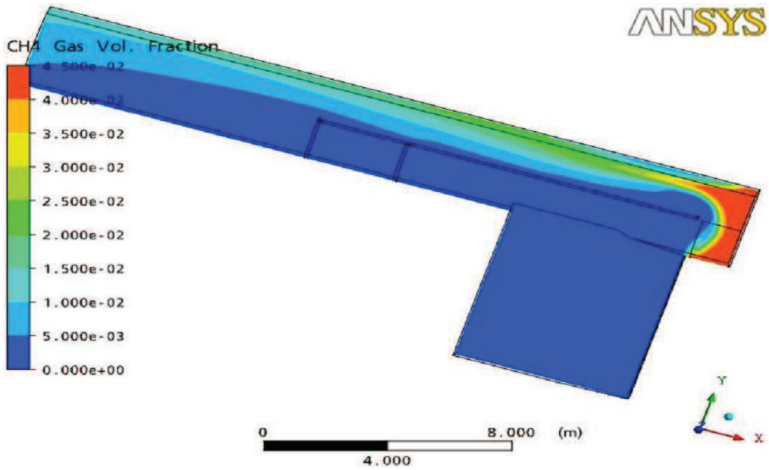
Skutkiem przebiegu procesów według hipotez pierwszej i drugiej mogło dojść w zrobach do zapalenia i wybuchu metanu powodującego wzrost ciśnienia gazów, a następstwem tego było:

- wypchanie gazów ze zrobów do ściany F-22 i do chodnika F-22b – także poprzez nieszczelność w rurociągu odmetanowania,
- wypływ płomienia ze zrobów na ostatnich 35 sekcjach obudowy (stąd ślady opalenia osłon na stojakach od strony zrobów) oraz zerwanie przewodów podłączonych do czujników metanometrii automatycznej zabudowanego w ścianie nad napędem przenośnika ścianowego,
- oraz jednoczesny:
  - przepływ rozrzedzającej się, wypchanej do chodnika F-22b objętości metanu na długości około 100 m oraz jej wymieszanie się z metanem wypływającym przez nieszczelność rurociągu, a po dalszym przepłynięciu około 40 m (140 m od ściany) nastąpiło wzmocnienie siły wybuchu zainicjowane doganiającym mieszaninę wybuchową płomieniem, co potwierdza (między innymi) rozkład skoksowanych ziaren węgla w chodniku F-22b od tego miejsca w dwie strony, a także zadziałanie czujnika ciśnienia zabudowanego na wentylatorze chłodnicy w chodniku F-22a i otwarcie na jedną sekundę tamy oddzielającej TW-1081 w chodniku F-20, a także rozrzucone w stronę ściany worki zapory przeciwwybuchowej,
  - wybuch metanu rozprzestrzeniający się w ścianie w kierunku chodnika F-22c (podścianowego) i w chodniku F-22c, co obrazują rozkład skoksowanych ziaren węgla w ścianie, krótkotrwała rewersja i otwarcie tamy wentylacyjnej TW-1085 w pochylni F-22 – powodujące też chwilowe zatrzymanie przepływu powietrza.

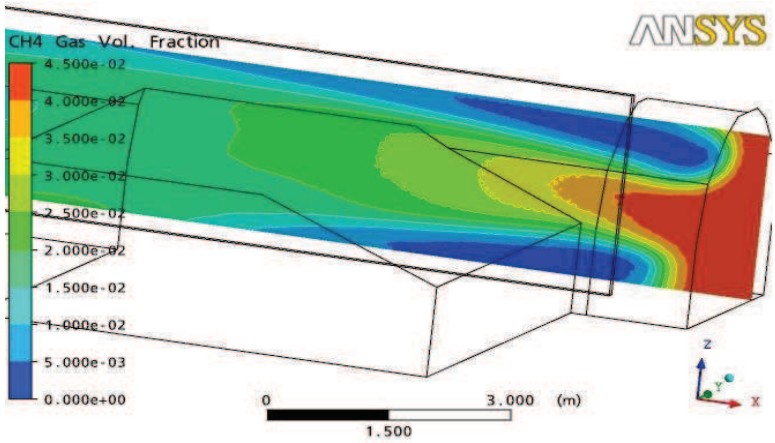
Hipoteza trzecia opiera się na tym, że w chodniku F-22b stwierdzono uszkodzony przewód elektroenergetyczny, zasilający znajdujący się około 140 m od ściany wyłącznik stycznikowy agregatu hydraulicznego wiertnicy na zbiorze nr XVIII (fot. 1), co mogło być źródłem zwarcia doziemnego, oraz na tym, iż od tego miejsca są ślady wskazujące na rozprzestrzenianie się wybuchu w dwie strony (fot. 2).

Wystąpić mogło jednocześnie kilka przyczyn powodujących powstanie mieszaniny wybuchowej w chodniku F-22b, co oznacza, że w okresie bezpośrednio poprzedzającym zdarzenie metan do chodnika F-22b mógł dopływać z kilku różnych źródeł, kilkoma różnymi drogami i mógł nie być rejestrowany. Pierwsza to ciśnienie eksploatacyjne powodujące szczelinowe wypływy metanu ze spągowych warstw węgla do wyrobisk przyścianowych. Wypływy takie występować mogą w odległości przekraczającej nawet 100 m od ściany i mogą być przyczyną tworzenia się przystropowych nagromadzeń metanu. Ponadto, w chodniku F-22b na odcinku przekraczającym 100 m występują w jego sąsiedztwie krawędzie eksploatacyjne wyżej wybieranych pokładów, a w odległości około 100 m przed ścianą równoleżnikowy uskok (prostopadły do osi chodnika) o zrzucie 0,8 m. Zarówno krawędź jak i uskok również umożliwiać mogły emisję metanu z calizny do wyrobiska na skutek kumulacji w sąsiedztwie tego wyrobiska naprężeń rozciągających. Metan mógł też dopływać z nie zaizolowanych (nie zamkniętych) otworów odmetanowania. W czasie wizji stwierdzono, że w otworach występował systematyczny wzrost stężenia metanu po każdorazowym ich przepłukaniu. Kolejnym źródłem dopływu metanu mógł być uszkodzony (częściowe rozerwanie) rurociąg odmetanowania o średnicy 300 mm na 98 m chodnika F-22b (fot. 3) – około 107 m od ściany F-22). Powierzchnię nieszczelności oszacowano na około 50% powierzchni przekroju poprzecznego rurociągu [2], a skutek tego musiał zostać zarejestrowany na stacji odmetanowania. Jednak – jak już wspomniano, taśma z rejestracją parametrów pracy z tego okresu zaginęła. Stąd też trudno jedno-

a)



b)



Rys. 2. Modelowy rozkład koncentracji metanu na skrzyżowaniu ściany z chodnikiem wentylacyjnym (przy stosowaniu przegrody wentylacyjnej [5]):
a) w płaszczyźnie poziomej;
b) w płaszczyźnie pionowej zlokalizowanej w odległości 0,5m od ociosu przeciwległego ściany

znacznie przyjąć lub wykluczyć jakiś konkretny przepływ ujmowanego gazu i powietrza do i z rurociągu. Ponadto, jak pokazują wyniki prowadzonego modelowania komputerowego rozkładu stężeń metanu w chodnikach wentylacyjnych ścian przewietrzanych systemem na *U* po caliźnie węglowej z zastosowaniem przegrody wentylacyjnej – takiej, jaka była zastosowana w rejonie ściany F-22 – mogło dochodzić do nierównomiernego rozkładu stężenia metanu. Największe stężenia metanu i o największym zasięgu (licząc od czoła chodnika w kierunku wylotu) występują w rejonie połowy wysokości wyrobiska oraz w sąsiedztwie ociosu przeciwległego do ściany. Zasięg występowania podwyższonych stężeń metanu na ociosie chodnika może być znaczny, sięgający nawet kilkudziesięciu metrów od ściany. Ilustruje to przykład [5] modelu opracowanego na podstawie danych z rejonu ściany F-22, z którego wynika (rys. 2), że prawidłowo zabudowany czujnik mógł nie wykryć metanu o stężeniu przekraczającym dolną granicę wybuchowości.

Zatem przyjęto, że w warunkach zakłóconej równowagi gazowej mógł wystąpić wypływ metanu ze zrobów ściany F-22, a następnie przepływ mieszaniny metanowej w chodniku F-22b i jej wymieszanie z metanem wypływającym przez nieszczelność rurociągu oraz z metanem wypływającym (w niewielkich ilościach) z pozostałych, wyżej opisanych źródeł. Zapalenie i wybuch metanu nastąpiły od znajdującego się około 31 m na północ od miejsca rozszczelnienia (140 m przed ścianą F-22) uszkodzonego przewodu elektroenergetycznego zasilającego wyłącznik stycznikowy agregatu hydraulicznego wiertnicy na zbiorze nr XVIII. Przewód ten był w tym czasie pod napięciem, a wyłączenie go spod napięcia przez system metanometrii automatycznej nastąpiło 8 sekund po wybuchu.

Towarzysząca wybuchowi metanu fala ciśnienia oraz płomień stopniowo wygaszały się w kierunku północnym, gdyż nie napotykały na swej drodze mieszaniny metanowo-powietrznej o palnym lub wybuchowym stężeniu. Natomiast w kierunku południowym, po dotarciu do zrobów od strony chodnika F-22b spowodowały zapalenie i wybuch metanu w zrobach oraz jego rozprzestrzenienie się poprzez zroby i ścianę do chodnika F-22c i w chodniku F-22c.

4. ZNACZENIE POMIARÓW CIŚNIENIA

W wyniku działań komisji sformułowano wnioski i zalecenia, które ukierunkowano przede wszystkim na zapobieżenie w przyszłości takim zdarzeniom [6]. Kilka z wniosków i zaleceń ma na celu umożliwienie w przyszłości jednoznacznego określenia przyczyn zdarzenia. Dotyczy to wniosków odnoszących się do przedsiębiorców wydobywających węgiel kamienny, zapisanych w p. 12.II.6:

W rejonach ścian, przy współwystępowaniu zagrożeń: metanowego II-IV kategorii, pożarowego i tąpaniami:

- *stosować systemy gazometrii automatycznej o działaniu ciągłym*,
- *rozbudować systemy gazometrii o pomiary ciśnienia bezwzględnego i różnicowego,*
- *zsynchronizować w czasie urządzenia łączności, bezpieczeństwa i alarmowania.*

Monitorowanie ciśnienia barometrycznego i różnicowego [9, 8] pozwoli na określenie poziomów zmian ciśnienia tolerowalnych i nietorelowalnych w danym rejonie. Jeśli do tego można byłoby dodać wiedzę o rozkładzie pola potencjałów aerodynamicznych w danym rejonie, to możliwa byłaby analiza i ocena przepływów gazów przez zroby. Głównie migracji tlenu – istotnej dla rozwoju procesu samozagrzewania, migracji tlenku węgla (produktów samozagrzewania) – istotnej dla wyrobisk z opływowym prądem powietrza, a także migracji metanu – istotnej zarówno ze względu na jego ewentualny wypływ do opływowego prądu powietrza, jak i przemieszczanie się w zrobach do ewentualnie występującego tam miejsca (źródła) procesu samozagrzewania, co w konsekwencji może grozić zapaleniem i wybuchem metanu. W związku z tym prowadzone są prace nad Mikrosystemem Barometryczno-Sygnalizacyjnym (MsBS), na który składać się będą:

- w pierwszej kolejności – monitorowanie ciśnienia bezwzględnego i ciśnienia różnicowego, jako wypełnienie zapisów komisji,
- w dalszej perspektywie – monitorowanie rozkładu pola potencjałów aerodynamicznych w rejonie danej ściany.

Jednak już realizacja pomiarów w zakresie ciśnienia spowoduje, że otrzymywać się będzie dane charakterem odpowiadające roli „czarnej skrzynki" w odtwarzaniu przyczyn i okoliczności wypadków samolotowych. Mając bowiem wyniki pomiarów ciągłych w zsynchronizowanym, jednoznacznie określonym czasie oraz parametry ciśnienia, szczególnie różnicowego [9] możliwe będzie odtworzenie zdarzenia pod względem czasu, miejsca powstania oraz siły oddziaływania. A to powinno wystarczyć do tego, by – niezależnie od mogących powstać rozbieżności, np. w wyniku zeznań świadków – ustalić w sposób jednoznaczny przyczyny zdarzenia.

Pomiar ciśnienia bezwzględnego w wybranych punktach rejonu wentylacyjnego ma służyć kilku celom. Przede wszystkim rejestracji zmian spowodowanych takimi czynnikami, jak: zmiany ciśnienia atmosferycznego na powierzchni, manipulacja urządzeniami wentylacyjnymi (tamy, lutniociągi itp.), dynamiczne zmiany ciśnienia wywołane procesami technologicznymi (roboty strzałowe, ruch maszyn), stanami awaryjnymi (gwałtowny wypływ metanu, wody, podsadzki płynnej) i stanami krytycznymi (wybuch metanu lub/i pyłu węglowego, wyrzut metanu lub/i skał), a także uzupełnieniu bieżącej (ciągłej) kontroli procesu wentylacji, w oparciu o którą możliwe jest podjęcie oddziaływania zapewniającego utrzymanie stanu wentylacji w granicach przewidzianych przepisami. Ponadto pozwolą na kontrolę tendencji zmian ciśnienia wraz z jego predykcją dla określenia poziomu możliwego zaburzenia procesu wentylacji, uzyskanie natychmiastowej informacji o początku i kolejności zdarzeń dynamicznych o charakterze awaryjnym i krytycznym, a także o rodzajach zdarzeń dynamicznych – na podstawie charakterystycznych przebiegów zmian ciśnienia bezwzględnego. Układ taki pozwoli też na zsynchronizowanie dynamicznego przebiegu zmian ciśnienia bezwzględnego z systemem alarmowo-rozgłoszeniowym.

Z kolei pomiar ciśnienia różnicowego ma służyć rejestracji charakterystyki dynamicznych zmian ciśnienia dla określenia czasu zapoczątkowania wybuchu lub/i wyrzutu, określenia miejsca zapoczątkowania wybuchu i odtworzenia przebiegu zdarzeń. Czujnik ten, z zapisanym przebiegiem zmian odgrywać będzie rolę „czarnej skrzynki" w przypadku zdarzeń o charakterze wybuchu lub wyrzutu.

Aby zapewnić precyzję w interpretacji zjawisk czujnik pomiaru ciśnienia bezwzględnego powinien charakteryzować się zakresem pomiarowym 800÷1300 hPa, natomiast czujnik do pomiaru ci-

śnienia różnicowego zakresem pomiarowym co najmniej 7500 Pa. Ponadto każdy z tych czujników powinien zapewniać:
– częstotliwość dyskretnych pomiarów rzędu 10 Hz, co zapewni wystarczającą dokładność pozwalającą odtworzyć przebieg wybuchu, wyrzutu,
– odczyt pomiarów z częstotliwością nie mniejszą niż co 2 sekundy,
– bufor pamięci o pojemności dwóch (minionych) dób, z automatyczną kasacją wyników doby wcześniejszej (starszej),
– możliwość bezpośredniego lub pośredniego podłączenia do systemu monitorowania stosowanego w danej kopalni,
– zasilanie autonomiczne zapewniające pracę po przerwaniu zasilania zewnętrznego przez okres co najmniej 6 godzin,
– możliwość zsynchronizowania czasu rejestracji pomiaru z czasem rzeczywistym systemu monitorowania,
– transmisję cyfrową.

Szczególnie ważna jest precyzja pomiarów ciśnienia bezwzględnego, którą czujnik powinien zapewniać z dokładnością ±0,3 hPa dla ciśnienia absolutnego w zakresie 800÷1300 hPa, przy rozdzielczości odczytu 0,01 hPa.

Przy ciśnieniu różnicowym ważne jest – ze względu na sposób jego funkcjonowania [9], by zabudowany czujnik był kontrolowany z częstotliwością raz na miesiąc pod względem drożności króćców wlotowego i wylotowego (a w razie potrzeby udrażniany). Ponadto, ustalony być powinien (w Planie ratownictwa) sposób wytransportowania czujnika (czujników) przed izolacją rejonu i miejsca docelowego ich zdeponowania, w celu wykorzystania rejestracji wyników pomiarów do analizy zdarzenia.

Mając na uwadze przyszłościowy Mikrosystem Barometryczno-Sygnalizacyjny (MsBS) ważne jest, by przyrząd pomiarowy mógł wykonywać także inne pomiary parametrów niezbędnych do obliczenia wartości potencjału aerodynamicznego, to jest temperatury i wilgotności powietrza.

5. MONITOROWANIE REJONU POD KĄTEM ZMIAN CIŚNIENIA

Monitorowanie rejonu pozwala oceniać i wyróżniać zmiany stanu równowagi występującego pomiędzy opływowym prądem powietrza a zrobami i jego istotnym sąsiedztwem, co umożliwia szybką reakcję na zmianę tego stanu. Jednak nie każda zmiana wymaga interwencji. Dlatego ważne jest, by dla danego rejonu określić poziomy zmian ciśnienia: tolerowalnego i nietolerowalnego. Wyznaczenie ich wartości kryterialnych wymaga następujących działań [8]:
– określenia bazowej wartości różnicy ciśnień ΔP_B pomiędzy dopływającym (dopływającymi) ΔP_D a odpływającym (odpływającymi) ΔP_O prądem powietrza przy zakładanym sposobie stabilizacji kierunku przepływu i wydatku powietrza (sprawne – zamknięte – tamy wentylacyjne w rejonie ściany) dokonane w okresie ustabilizowanego, stałego ciśnienia atmosferycznego

$$\Delta P_B = \Delta P_D - \Delta P_O, \text{ Pa}, \quad (1)$$

– określenia maksymalnej wartości różnicy ciśnień ΔP_{max} pomiędzy dopływającym (dopływającymi) ΔP_D a odpływającym (odpływającymi) ΔP_O prądem powietrza przy awaryjnym stanie wentylacji (otwarte tamy wentylacyjne) dokonane w tym samym okresie ustabilizowanego, stałego ciśnienia atmosferycznego

$$\Delta P_{max} = \Delta P_{Dmax} - \Delta P_{Omax}, \quad (2)$$

– ustalenia różnicy ciśnień rejonu ΔPR

$$\Delta P_R = \Delta P_{max} - \Delta P_B, \text{ Pa} \quad (3)$$

– ustalenia zakresu tolerowalnych zmian ciśnienia ΔP_T w przedziale do 10% lub do 20% (według oceny kierownika działu wentylacji) różnicy pomiędzy wartościami bazową a maksymalną to jest $\Delta P_T = 0{,}1 \div 0{,}2\ \Delta P_R$.

Stosownie do poziomu zagrożeń występujących w danym rejonie wymagane jest opracowanie procedur (przez kierownika działu wentylacji) na okoliczność zmian dynamicznych ciśnienia barometrycznego:
– nietolerowalnych ΔP_N, to jest większych od zmian tolerowalnych a mniejszych niż wartość nie przekraczająca 50% pomiędzy wartościami różnicy bazowej ΔP_B a różnicy maksymalnej ΔP_{max}, czyli

$$0{,}1 \div 0{,}2\ \Delta P_R < \Delta P_N \leq 0{,}5\ \Delta P_R,$$

– krytycznych ΔP_K, to jest przekraczających 50% różnicy pomiędzy wartościami różnicy bazowej ΔP_B a różnicy maksymalnej ΔP_{max}, czyli $\Delta P_K > 0{,}5\ \Delta P_R$.

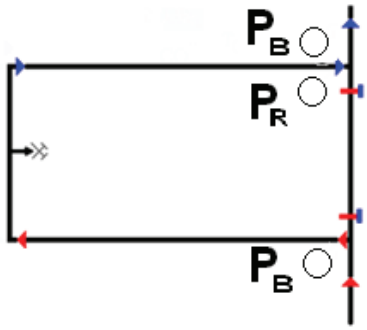
oraz zapoznanie z nimi osób odpowiedzialnych za monitorowanie bezpieczeństwa w danym rejonie.

Dla umożliwienia właściwej oceny kontrolowanego rejonu ściany niezbędne jest dostosowanie lokalizacji czujników do systemu przewietrzania [8].

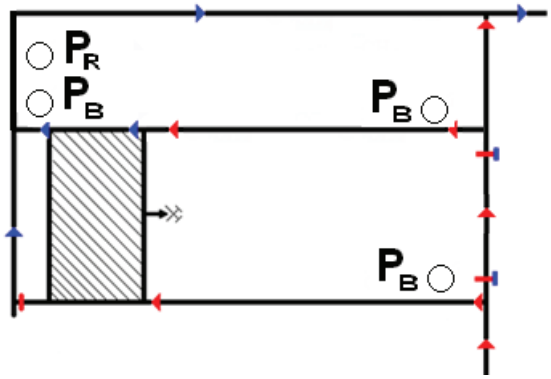
Zasadą przy tym jest, że czujnik ciśnienia bezwzględnego P_B w rejonie ściany zabudowany jest:
– w wyrobiskach z dopływającym prądem powietrza świeżego – w odległości do 20 m od skrzyżowania, w którym ten prąd powietrza się oddziela,
– w wyrobiskach z odpływającym prądem powietrza zużytego – w odległości do 20 m od skrzyżowania, w którym prąd powietrza łączy się z innym,

co pokazują przykłady przedstawione na rys. 3, 4, 5, 6.

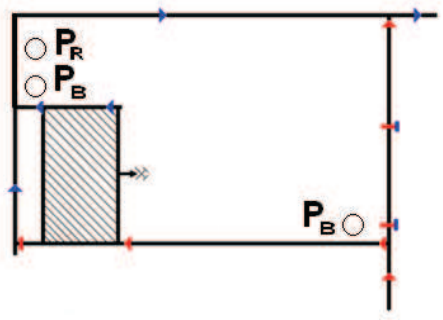
Z kolei czujnik ciśnienia różnicowego P_R powinien być zabudowany:
– w wyrobisku (wyrobiskach) z odpływającym prądem powietrza zużytego – w odległości do 20 m od skrzyżowania, w którym prąd powietrza łączy się z innym, co ilustrują przykłady na rys. 3, 4, 5, 6,
– w przypadku utrzymywania za ścianą dwóch wyrobisk – w każdym z nich (przykład – rys. 6).



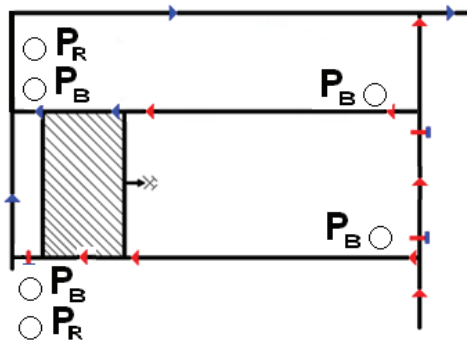
Rys. 3. Przykład lokalizacji czujników pomiaru ciśnienia bezwzględnego (P_B) i ciśnienia różnicowego (P_R) przy przewietrzaniu systemem na U



Rys. 4. Przykład lokalizacji czujników pomiaru ciśnienia bezwzględnego (P_B) i ciśnienia różnicowego (P_R) przy przewietrzaniu systemem na Y



Rys. 5. Przykład lokalizacji czujników pomiaru ciśnienia bezwzględnego (P_B) i ciśnienia różnicowego (P_R) przy przewietrzaniu systemem na Z



Rys. 6. Przykład lokalizacji czujników pomiaru ciśnienia bezwzględnego (P_B) i ciśnienia różnicowego (P_R) przy przewietrzaniu systemem na H

Jak już wcześniej podano, czujnik pomiaru ciśnienia bezwzględnego stanowić ma element opracowywanego Mikrosystemu Barometryczno-Sygnalizacyjnego MsBS. Zatem warto do pomiarów zastosować taki czujnik, który posiada więcej funkcji. Czujnikiem spełniającym wymagania funkcjonalne jest czujnik THP-2 (fot. 4), którego budowę oparto o wysokiej klasy przetwornik ciśnienia bezwzględnego [3].

Fot. 4. Przyrząd THP-2 do pomiaru parametrów i wyznaczania potencjału aerodynamicznego

Jest czujnikiem stacjonarnym, przeznaczonym do ciągłego pomiaru ciśnienia, temperatury i wilgotności względnej powietrza w wybranych miejscach kopalni. Wyniki tych pomiarów w powiązaniu z miejscem pomiarowym w kopalnianej sieci wentylacyjnej służą do obliczania w systemie SMP-NT wartości potencjału aerodynamicznego.

6. PODSUMOWANIE

Wśród przyczyn uniemożliwiających jednoznaczne określenie przyczyny zapalenia i wybuchu metanu w kopalni „Borynia" są brak jednorodnego systemu monitorowania zagrożeń i parametrów środowiska oraz brak integracji stosowanych rodzajów monitorowania pod względem czasu rejestracji.

W wyniku prac komisji przyjęto pożar endogeniczny szczelinowy i pożar spoiwa klejowego jako dwa hipotetyczne inicjały związane z zagrożeniem pożarowym oraz inicjał trzeci – od zwarcia doziemnego.

Zastosowanie czujników pomiarów ciśnienia barometrycznego i ciśnienia różnicowego pozwoli określić – w przypadku zdarzenia – czas i miejsce inicjału oraz odtworzyć przebieg zjawiska.

Czujniki pomiaru ciśnienia bezwzględnego charakteryzować się muszą odpowiednią charakterystyką parametrów, w tym dokładnością pomiarów.

Monitorowanie i ocenę stanu równowagi pomiędzy wyrobiskami z opływowym prądem powietrza a zrobami umożliwi Mikrosystem Barometryczno-Sygnalizacyjny, co pozwoli na szybką reakcję w razie zaistnienia stanu awaryjnego lub krytycznego.

Literatura

1. Analiza sposobu przewietrzania oraz zagrożenia pożarowego w rejonie ściany F-22 w pokł. 405/1, na poziomie 838 m w JSW S.A. KWK „Borynia" w Jastrzębiu Zdroju. Praca pod redakcją J. Sułkowskiego. Katowice-Gliwice 2009, niepublikowane.
2. Analiza zagrożenia metanowego i zabezpieczeń gazometrycznych w rejonie ściany F-22 w pokładzie 405/1łg, na poziomie 838m, w JSW S.A. KWK „Borynia" w Jastrzębiu Zdroju. Praca pod redakcją P. Krzystolika. Katowice, Kraków 2009, niepublikowane.
3. *Budziszewski A., Mróz J., Szczygielska M.*: Stacjonarny czujnik do ciągłego pomiaru parametrów fizycznych powietrza i obliczania potencjałów aerodynamicznych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 2008, nr 12, s. 41-45.
4. *Dziurzyński W., Pałka T.*: Rozpływ powietrza, metanu i gazów pożarowych w rejonie ściany F-22 pokład 405/1 w KWK „Borynia" przed wybuchem metanu. Materiały 5. Szkoły Aerologii Górniczej, Wrocław, 13-16 październik 2009, CUPRUM Wrocław, s. 19-32.
5. *Łukowicz K.*: Szczególne przypadki wystąpienia warunków sprzyjających zagrożeniu wybuchem metanu. W: Działania prewencyjne w rejonach ścian, eksploatowanych przy współwystępowaniu zagrożenia metanowego II-IV kategorii oraz zagrożenia pożarami endogenicznymi. Wyd. WUG, Katowice 2009, s. 26-43.
6. Sprawozdanie Komisji powołanej decyzją Prezesa Wyższego Urzędu Górniczego z dnia 5 czerwca 2008 r. dla zbadania przyczyn i okoliczności zapalenia i wybuchu metanu oraz wypadku zbiorowego, zaistniałych w dniu 4 czerwca 2008 r. w Jastrzębskiej Spółce Węglowej S.A., Kopalni Węgla Kamiennego „Borynia" w Jastrzębiu Zdroju.
7. *Trenczek S.*: Hipotezy przyczyn zapalenia i wybuchu metanu na kopalni „Borynia". W: Działania prewencyjne w rejonach ścian, eksploatowanych przy współwystępowaniu zagrożenia metanowego II-IV kategorii oraz zagrożenia pożarami endogenicznymi. Wyd. WUG, Katowice 2009, s. 3-25.
8. *Trenczek S.*: Zasady stosowania czujników pomiarów ciśnienia bezwzględnego i różnicowego. W: Działania prewencyjne w rejonach ścian, eksploatowanych przy współwystępowaniu zagrożenia metanowego II-IV kategorii oraz zagrożenia pożarami endogenicznymi. Wyd. WUG, Katowice 2009, s. 52-60.
9. *Trutwin W.*: Monitorowanie ciśnienia atmosfery w rejonie ściany przy występowaniu zagrożeń skojarzonych. Działania prewencyjne w rejonach ścian, eksploatowanych przy współwystępowaniu zagrożenia metanowego II-IV kategorii oraz zagrożenia pożarami endogenicznymi. Wyd. WUG, Katowice 2009, s. 44-51.
10. *Wachowicz J.*: Materiały organiczne do konsolidacji i uszczelniania górotworu – zagrożenia związane z ich stosowaniem w kopalniach węgla. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 2004, Nr 7, s. 10-14.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Wacław Trutwin