

STANISŁAW TRENCZEK

Wykorzystanie możliwości monitorowania parametrów powietrza przy określaniu źródła tlenku węgla w świetle badań

Na wstępie przypomniano istotę systemów monitorowania, opartą na elektronice zapewniającej odpowiednią prędkość i wiarygodność przetwarzania danych pomiarowych, a jednocześnie posiadającą właściwe cechy iskrobezpieczeństwa. W dalszej części pokazano przykłady pomiarów stężenia tlenku węgla pochodzącego z różnych źródeł. W kontekście zróżnicowanych charakterystyk przebiegu zmian stężenia tlenku węgla odniesiono się do zagadnienia identyfikacji źródła tlenku węgla, którego stężenia pojawiły się po wysokoenergetycznym wstrząsie górotworu skutkującym tąpnięciem. W celu lepszego zobrazowania zdarzenia przedstawiono uwarunkowania prowadzenia robót górniczych w rejonie objętym skutkami tąpnięcia oraz dokonaną eksploatację w pokładach nadległych tej partii złoża węgla kamiennego. Na koniec przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań porównawczych zmian stężenia tlenku węgla oraz wnioski z tego wynikające.

Słowa kluczowe: elektronika, systemy monitorowania, źródła tlenku węgla

1. WPROWADZENIE

W polskim górnictwie podziemnym średnia głębokość eksploatacji pokładów węgla kamiennego co roku zwiększa się o około 8 m. W związku z tym podczas prowadzenia robót górniczych występują coraz trudniejsze uwarunkowania geologiczno-górniczne. Powoduje to zwykle wzrost poziomu zagrożeń stale towarzyszących górnictwu. Należą do nich zagrożenia pożarowe i wodne, działanie pyłów szkodliwych dla zdrowia, wybuchy pyłu węglowego, jak i coraz częściej występujące zagrożenia: metanowe, tąpnięcia, wyrzuty gazów i skał, wpływ zmian klimatycznych. Im lepsze rozpoznanie tych zagrożeń na etapie projektowania robót górniczych, tym większa możliwość dostosowania działań profilaktycznych w celu zapewnienia bezpieczeństwa prowadzenia robót górniczych. Najważniejsze jest jednak doraźne kontrolowanie parametrów charakteryzujących dane zagrożenie, gdyż pozwala to natychmiastowo reagować na zwiększający się jego poziom.

Aktualnie w polskich kopalniach stosowane są różnego rodzaju systemy monitorowania, dyspozytorskie systemy wspomagające podejmowanie działań, a także

systemy łączności alarmowej służące do szybszego, automatycznego powiadamiania załogi o niebezpieczeństwie i konieczności wycofania się z danego rejonu. Należy jednak dodać, że nie wszystkie zagrożenia można – aktualnie – monitorować w sposób ciągły. Jest więc jeszcze wiele do zrobienia w tym zakresie.

W niniejszym artykule zostanie przedstawiony zaledwie wycinek możliwości, jakie w kontroli i ocenie zjawisk aerologicznych daje systemowe monitorowanie. W kontekście zdarzenia, jakie miało miejsce w dniu 5 maja 2018 r., pokazany zostanie przekrój możliwości kontroli stężenia tlenku węgla w powietrzu kopalnianym wraz z możliwościami automatycznej oceny źródła CO.

2. CHARAKTERYSTYKA SYSTEMOWEGO MONITOROWANIA

Do kontroli i oceny parametrów powietrza płynącego w podziemnych wyrobiskach górniczych powszechnie stosuje się systemy aerometrii górniczej [1]. Składają się na nią zwykle gazometria automatyczna oraz –

w przypadku występującego zagrożenia metanowego – metanometria automatyczna. Z kolei w przypadku występowania zagrożenia tąpnięciami system aerometrii górniczej jest zintegrowany z systemami monitorowania: mikrosejsmicznym i sejsmoakustycznym.

O ile metanometria zawsze pełniła funkcję zabezpieczającą, polegającą na wyłączaniu automatycznym maszyn i urządzeń spod napięcia w rejonach, przez które przepływał prąd powietrza zawierający metan w stężeniu ponadnormatywnym, o tyle stosowanie takich zabezpieczeń w klasycznej gazometrii datuje się dopiero od połowy pierwszego dziesięciolecia XXI wieku. Chodzi tu np. o takie wyłączanie spod napięcia w przypadku spadku prędkości powietrza w rejonie ściany czy przodka z występującym zagrożeniem metanowym, czy też w przypadku jednoczesnego otwarcia drzwi w tamach wentylacyjnych stabilizujących kierunek i wydatek powietrza, a także w przypadku zaistniałego w rejonie wstrząsu górotworu o określonej (przez służby kopalniane) energii. Ten ostatni przypadek ma wyeliminować możliwość powstania iskry elektrycznej w wyniku awarii kabla lub/i urządzenia zasilanego energią elektryczną, która może zainicjować zapłon metanu.

Aby jednak informacje o wartościach mierzonych parametrów mogły być właściwie przetransformowane i wykorzystane, w kopalniach podziemnych niezbędny jest system telekomunikacyjny [2], odpowiedni dla danego rodzaju górnictwa. Przez telekomunikację [3] rozumie się nadawanie, odbiór lub transmisję informacji (jakiegokolwiek natury) za pomocą przewodów, fal radiowych bądź optycznych lub innych środków wykorzystujących energię elektromagnetyczną. Każdy system monitorowania musi gwarantować wiarygodność pomiaru i transmisji danych, charakteryzować się odpowiednio dużą prędkością przetwarzania danych. Istotą przy tym jest możliwość określenia niepewności roboczej przyrządu/czujnika (niepewności w znamionowych warunkach użytkowania), rozdzielczości transmisji, rozdzielczości zapisu wyniku pomiaru w repozytorium i format zapisu [4, 5]. Ponadto w kopalniach podziemnych, w których występują lub mogą wystąpić zagrożenia wybuchem metanu lub/i pyłu węglowego, system telekomunikacyjny musi spełniać bardziej rygorystyczne wymagania [6]:

- urządzenia dołowe systemów telekomunikacyjnych powinny mieć budowę iskrobezpieczną lub być bezpieczne optycznie (cecha „opis” wg PN-EN 60079-28 [7]) i umożliwiać pracę w warunkach dowolnej koncentracji metanu;

- urządzenia telekomunikacyjne oraz urządzenia współpracujące z tymi systemami stosowane w wyrobiskach powinny mieć stopień ochrony obudowy minimum IP54 – z uwagi na wilgotność, zasolenie i obecność pyłów;
- stosowanie drzewiastej struktury sieci telekomunikacyjnych ze względu na małe poprzeczne wymiary wyrobisk korytarzowych (kilka metrów) w stosunku do ich wymiarów podłużnych (do kilku kilometrów); rozległość wyrobisk.

Istotne jest też zapewnienie możliwie maksymalnej skuteczności rozdziału uziomów elektroenergetycznych (w tym SUPO) i telekomunikacyjnych, przy występującym dużym nagromadzeniu (w ograniczonych przestrzeniach) sieci i urządzeń elektroenergetycznych o bardzo dużych mocach.

Kolejnym istotnym elementem systemów telekomunikacyjnych jest ciągłość zasilania tych urządzeń. O ile typowe, zdarzające się ograniczenia, wynikające z planowych wyłączeń w sieci elektroenergetycznej (np. ze względu na przeprowadzanie napraw), okresowych testowań układów wyłączeń urządzeń elektroenergetycznych realizowanych przez systemy gazometrii, oraz nieplanowe wyłączenia wywołane zadziałaniem zabezpieczeń elektroenergetycznych oraz metanometrycznych, nie stwarzają większych perturbacji w ocenie poziomu zagrożeń, to przerwa w zasilaniu lub/i transmisji danych – np. spowodowana zdarzeniem typu wybuch metanu, wybuch pyłu węglowego, tąpnięcie – powodują kompletny brak informacji z rejonu objętego skutkami danego zdarzenia. Wówczas tylko metodami pośrednimi, bazującymi na danych spoza takiego rejonu można próbować ocenić, co stało się i co dzieje się w danym rejonie.

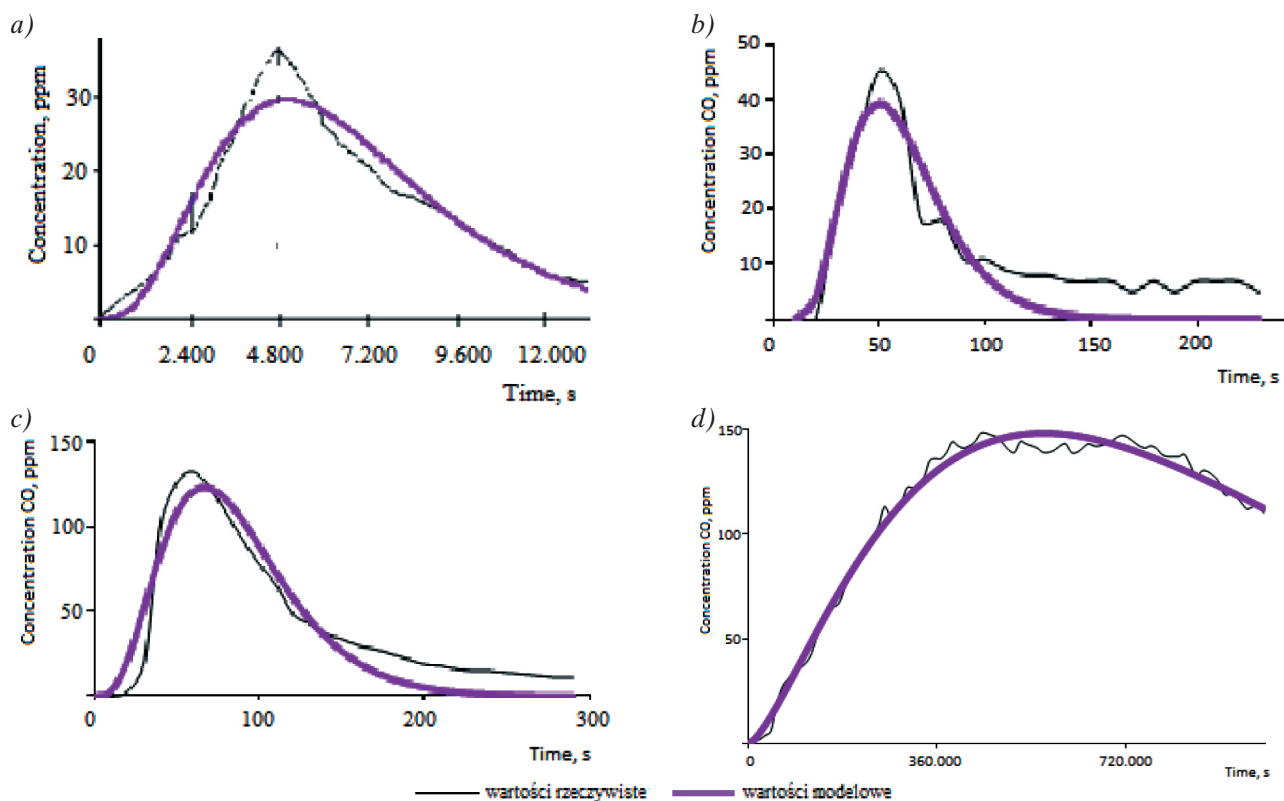
3. OCENA ŹRÓDŁA TLENKU WĘGLA NA PODSTAWIE CHARAKTERYSTYKI ZMIAN STĘŻENIA

W kopalniach węgla kamiennego powszechne jest zagrożenie pożarami endogenicznymi. Występowanie tlenku węgla w powietrzu kopalnianym w stężeniu powyżej 26 ppm lub ilości CO powyżej 25 l/min jest uznawane – jeśli CO nie pochodzi z procesów technologicznych – za pożar, w związku z czym należy wszcząć akcję ratowniczą przeciwpożarową. Z uwagi na standardowo stosowane sposoby monitorowania zagrożeń aerologicznych mogą się zdarzyć przypadki niewłaściwej interpretacji źródła tlenku węgla, przez

co może zostać zbyt szybko ogłoszona akcja ratownicza przeciwpożarowa, która zawsze pociąga za sobą koszty, a w takim przypadku byłyby one nieuzasadnione.

Ponieważ jest wiele przyczyn, które mogą spowodować pojawienie się CO w stężeniu lub/i ilościach ponadnormatywnych, ważne jest, by szybko zidentyfikować źródło CO [8]. W celu właśnie takiej szybkiej, automatycznej identyfikacji źródła CO przeprowadzono badania [9] w ramach projektu europejskiego współfinansowanego z funduszu Coal & Steel pt. „Minimalizacja

ryzyka występowania i zmniejszenie skutków zagrożenia pożarem i wybuchem w podziemnym górnictwie węglowym”. Głównym zadaniem było opracowanie efektywnej detekcji niebezpiecznych atmosfery i gazów pożarowych w celu wyeliminowania błędnej interpretacji powodu wzrostu stężeń CO. Badania pozwoliły na opracowanie modeli zmian stężenia CO w zależności od źródła jego pochodzenia (rys. 1), oraz opracowanie podsystemu identyfikacji źródeł CO współpracującego ze standardowymi systemami monitorowania.



Rys. 1. Modele zmian stężenia CO w zależności od źródła: a) przypadek skutków wypływu gazów ze zrobów; b) przypadek skutków pracy maszyny spalinowej; c) przypadek skutków robót strzałowych; d) przypadek pożaru endogenicznego [9]

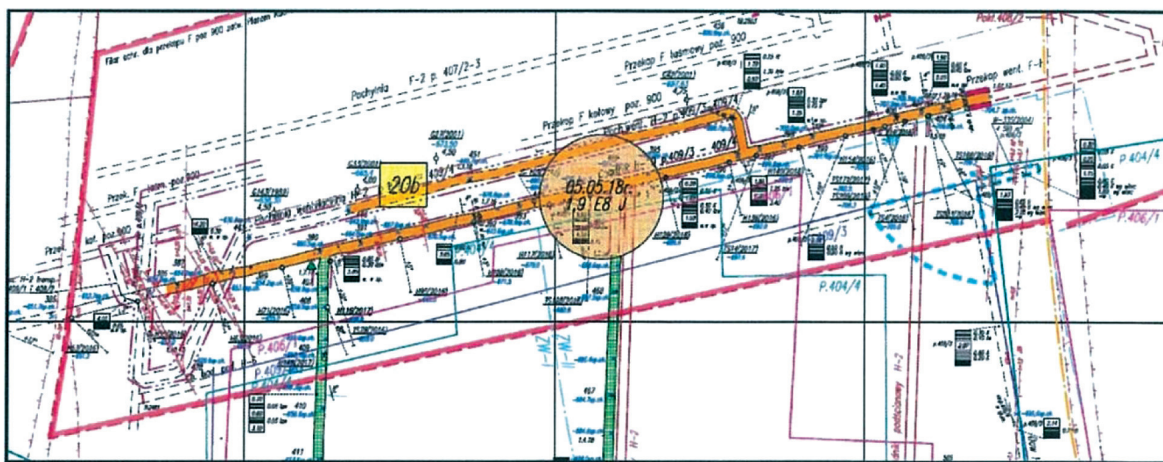
4. USTALENIE ŹRÓDŁA EMISJI TLENKU WĘGLA W PRZYPADKU WSTRZĄSU GÓROTWORU I POTENCJALNEGO WYKONANIA ROBÓT STRZAŁOWYCH – STUDIUM PRZYPADKU

W dniu 5 maja 2018 r. o godzinie 10.58 doszło do wysokoenergetycznego wstrząsu górotworu o energii $E = 2,0 \cdot 10^9$ J (początkowa ocena energii wskazywała na wartość $E = 1,9 \cdot 10^8$ J), który spowodował tąpnięcie (rys. 2). Jego skutki objęły w sumie ok. 820 m odcinków wyrobisk górniczych wykonanych w partii H pokładu 409/4, gdzie łączna długość wykonanych wyrobisk wynosiła ok. 2700 m. W celu wyjaśnienia przyczyn i okoliczności tego tąpnięcia prezes

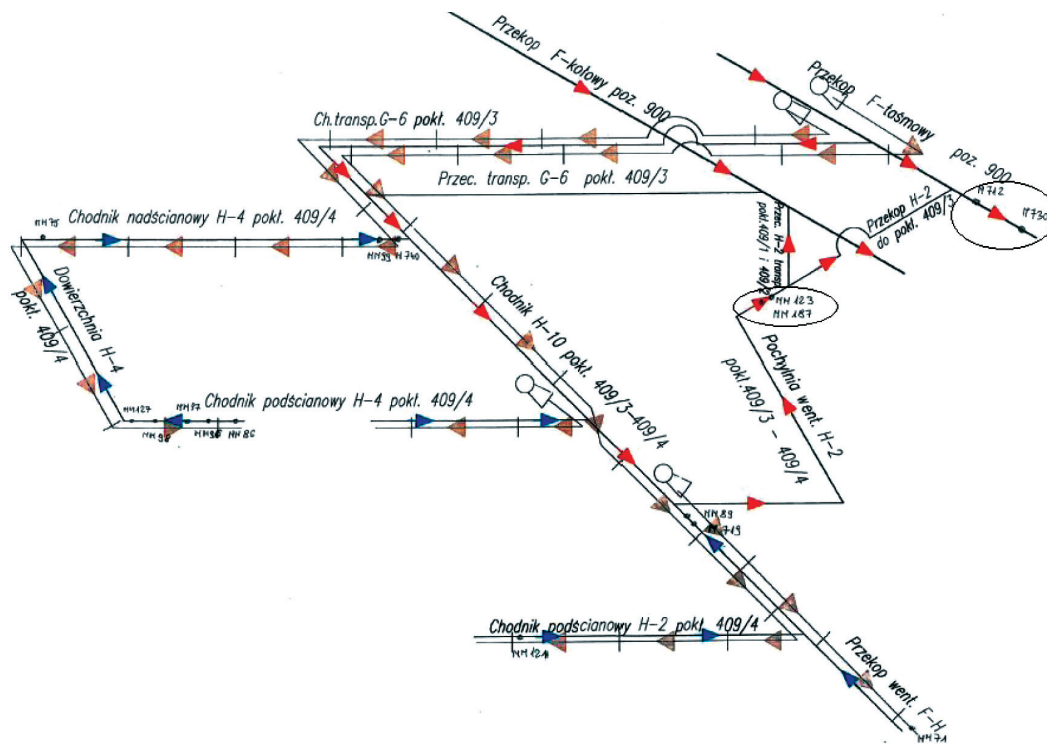
Wyższego Urzędu Górniczego powołał specjalną komisję [10].

W wyniku tąpnięcia czujniki metanometrii automatycznej oraz czujniki CO-metrii automatycznej zabudowane w tym rejonie przestały działać, gdyż doszło do przerwania zasilania i transmisji danych pomiarowych. Funkcjonowały jedynie czujniki znajdujące się poza rejonem objętym skutkami (rys. 3).

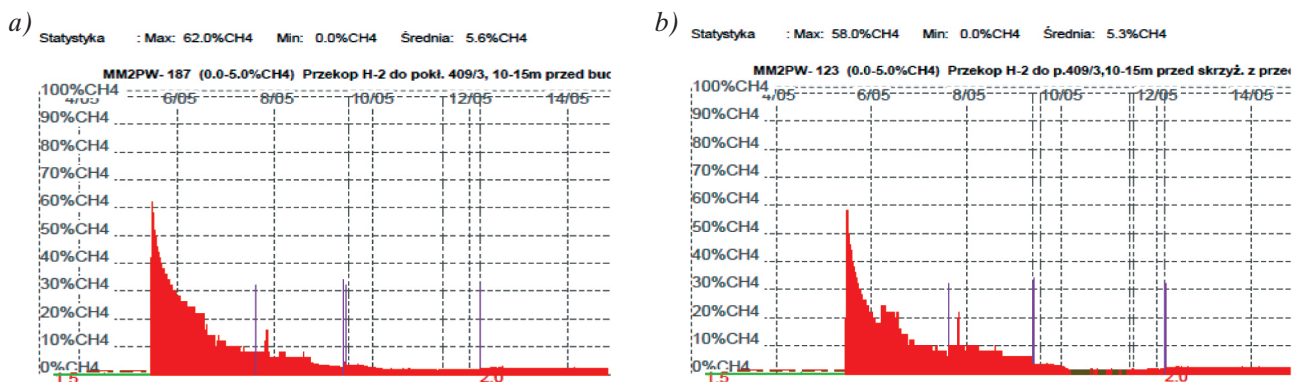
Z działających czujników – czujniki metanu MM187 i MM123 – zarejestrowały znaczący, dynamiczny przyrost stężenia metanu – rysunek 4 (zapis kolorem czerwonym), po stężeniach dopuszczalnych (kolor zielony). Wzrost stężenia metanu, tyle że o znacznie mniejszej skali (rys. 5), wskazały też czujniki tlenku węgla M712 i M730.



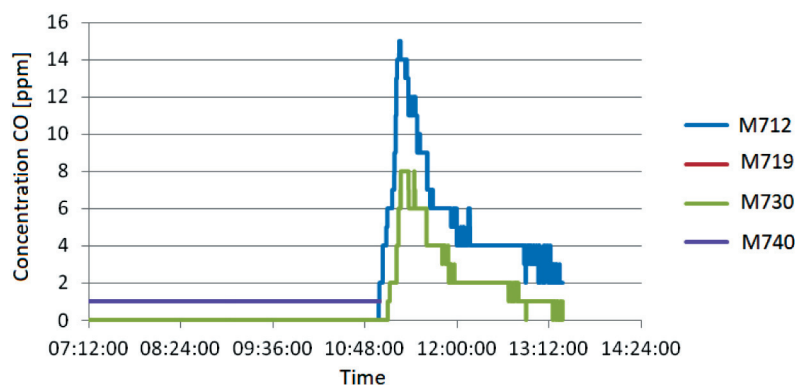
Rys. 2. Fragment mapy wyrobisk górniczych pokładu 409/4 w partii H wraz z lokalizacją wstrząsu górotworu [11]



Rys. 3. Schemat wentylacyjny partii H pokładu 409/4 z naniesionymi czujnikami pomiaru metanu (MM...) i tlenu węgla (M...) [11]



Rys. 4. Wskazania czujników metanu w okresie przed tąpnięciem 5.05.2018 r. i po nim: a) MM187; b) MM123 [11]



Rys. 5. Wskazania czujników tlenku węgla M712 i M730 5.05.2018 r. przed tąpnięciem i po nim [11]

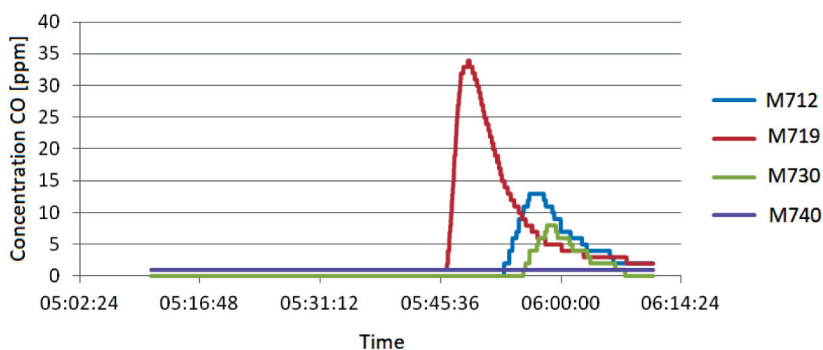
Podczas prac komisji pojawiły się wątpliwości związane z przyczyną, a właściwie inicjacją wstrząsu górotworu, spowodowane tym, że w tym samym czasie, w którym wystąpił wstrząs górotworu i tąpnięcie, w przodku jednego z drażonych wyrobisk korytarzowych miało być wykonane strzelanie urabiające z użyciem 7,5 kg materiału wybuchowego. Doszło już do załadowania otworów strzałowych materiałem wybuchowym i uzbrojenia ich zapalnikami. Nie udało się jednak stwierdzić, czy przypadkiem nie doszło do odpalenia materiału wybuchowego, co mogło być inicjałem wstrząsu górotworu. W celu wyjaśnienia tych wątpliwości zlecono przeprowadzenie stosownych badań [11].

Wykonana w trakcie badań analiza 23 wcześniej (przed tąpnięciem) wykonanych robót strzałowych w drażonych wyrobiskach w partii H pokładu 409/4, które wywołały wstrząsy górotworu, pokazała, że zmiany CO mają charakterystyczny przebieg na czujnikach M712 i M730, co jako przykład ilustruje rysunek 6.

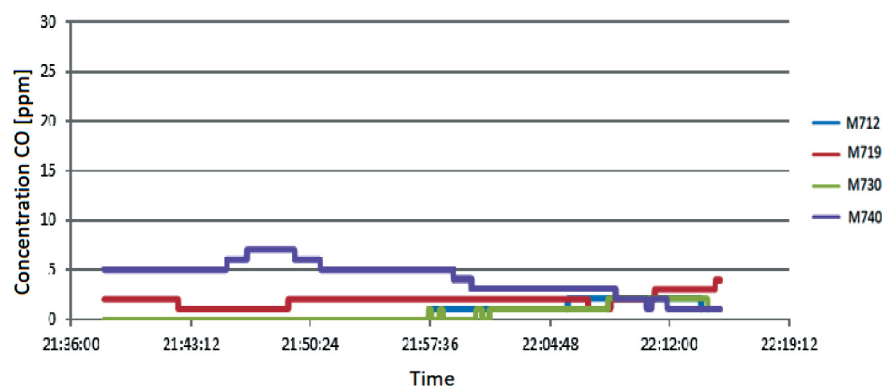
Można by było, po porównaniu go ze zmianami zaistniałymi po tąpnięciu (rys. 5), stwierdzić, że i po tym tąpnięciu zmiany stężenia CO potwierdzają, iż doszło

do odpalenia materiału wybuchowego. Jednakże inne fakty – jak m.in. zapis sejsmografu, oświadczenie inżyniera strzelniczego kontrolującego ten przodek po tąpnięciu – nie potwierdzały tej wersji zdarzeń. W związku z tym prowadzono badania wszystkich zmian stężenia CO w okresie poprzedzającym tąpnięcie, w celu ewentualnego stwierdzenia innych powodów takich wzrostów. Okazało się, że miały miejsce nieznaczne wzrosty stężenia CO przy wstrząsach górotworu, nieprovokowanych robotami strzałowymi. Tyle że przyrosty stężenia CO były znacznie mniejsze (rys. 7). Fakt, że energia tych wstrząsów była także znacznie mniejsza niż energia wstrząsu powodującego tąpnięcie, można było przyjąć jako punkt wyjścia do dalszych analiz.

Kolejnym krokiem w badaniach było znalezienie źródła tlenku węgla innego niż roboty strzałowe z użyciem materiału wybuchowego. W tym celu przeanalizowano uwarunkowania geologiczno-górnice w partii H we wszystkich pokładach węgla wraz z zaszciościami eksploatacyjnymi. Okazało się m.in., że nad pokładem 409/4 zalega wyeksploatowany (w znacznej części) pokład 409/3. Oznaczało to, że w zrobach tego pokładu mogły się znajdować różne gazy, w tym CH_4 i CO.



Rys. 6. Przykład zmian stężenia CO na czujnikach M712 i M730 po robotach strzałowych z użyciem 7,5 kg materiału wybuchowego [11]



Rys. 7. Zmiany stężeń CO poszczególnych czujników 25.04.2018 r. w rejonie H po wstrząsie zaistniałym o godz. 21.46.26 bez związku z robotami strzałowymi [11]

Wyjątkowo duża energia wstrząsu ($E = 2,0 \cdot 10^9$ J) musiała spowodować rozszczelnienie górotworu w partii H i migrację gazów ze zrobów pokładu 409/3 do wyrobiska w pokładzie 409/4, dlatego że wyrobiska te, pomimo częściowego zniszczenia po tąpnięciu, były poddane wpływowi depresji wentylatora głównego przewietrzania.

Potwierdziło to natężenie objętościowe metanu przepływającego przez rejon po tąpnięciu, wynoszące ok. 545 000 m³ [12], z którego część została wygenerowana z samego pokładu 409/4, zaś część ze zrobów wyżej zalegającego pokładu. Ze zrobów tych przepłynął także tlenek węgla, zarejestrowany przez czujnik M712 w stężeniu maksymalnym 15 ppm, którego całkowita ilość wynosiła ok. 96 m³ CO. Porównując charakterystykę zmian stężenia CO po tąpnięciu (rys. 6) do zmian pokazanych na modelach charakterystyk zmian CO (rys. 1), można zauważyć podobieństwo – przy uwzględnieniu czasu zmian – z modelem obrazującym zmiany związane z wypływem tlenku węgla ze zrobów (rys. 1a). Zatem hipotezę o inicjacji wysokoenergetycznego wstrząsu górotworu przez wykonanie robót strzałowych można było uznać za niepotwierdzoną.

5. PODSUMOWANIE

Stosowane w polskich kopalniach różnego rodzaju systemy monitorowania, dyspozytorskie systemy wspomagające podejmowanie działań, a także systemy łączności alarmowej służą do prawidłowej oceny poziomu danego zagrożenia, co pozwala na dostosowanie działań profilaktycznych do zmieniającego się poziomu, a także w przypadku zdecydowanego, ponadnormatywnego wzrostu poziomu zagrożenia, do automatycznego powiadomienia załogi o niebez-

pieczeństwie i konieczności wycofania się z danego rejonu.

Systemy monitorująco-alarmujące charakteryzują się gwarantowaną wiarygodnością pomiaru i transmisji danych, a także dużą prędkością przetwarzania danych.

Przypadki niewłaściwej interpretacji źródła tlenku węgla pokazują, że może dojść do nieuzasadnionego wszczęcia akcji ratowniczej, co pociąga za sobą zbędne koszty.

Opracowany podsystem identyfikacji źródeł CO, współpracujący ze standardowymi systemami monitorowania, pozwala na szybką ocenę źródła CO, przez co eliminuje się przypadki nieuzasadnionego wszczęcia akcji ratowniczej przeciwpożarowej.

W przypadkach szczególnych, np. w wyniku katastrofy – wybuchu metanu, wybuchu pyłu węglowego, tąpnięcia – dochodzi do przerwania zasilania systemów monitorowania, przerwania linii transmisji danych pomiarowych, przez co występuje totalny brak danych pomiarowych z rejonu.

W przypadku braku danych pomiarowych z danego rejonu ocena przyczyn zdarzenia, jak i stanu aktualnego poziomu zagrożeń w takim rejonie przeprowadzona być musi na podstawie wskazań czujników zabudowanych poza danym rejonem.

Literatura

- [1] Trenczek S.: *Automatyczna aerometria górnicza dla kontroli zagrożeń aerologicznych*, „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa” 2005, 3: 11–20.
- [2] Miśkiewicz K., Wojaczek A.: *Telekomunikacja w górnictwie. Systemy łączności telefonicznej, alarmowej i głośnomówiące*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2018.
- [3] *Ustawa z dnia 16 lipca 2004 r. Prawo telekomunikacyjne*, Dz.U. z 2004 r. Nr 171, poz. 1800 z późn. zm.
- [4] Sikora M., Sikora B.: *Systemy monitorowania w kopalniach węgla kamiennego – bazy danych, wizualizacja, analiza danych*, w: *Bazy Danych: Nowe Technologie*, red. S. Kozielski et al., Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.

- [5] Wojaczek A.: *Telematyka w podziemnych zakładach górniczych*, „Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering” 2017, 7: 27–34.
- [6] Cała D., Kozielski M., Sikora B., Śliwa J.: *Zintegrowany, szkieletowy system wspomagania decyzji dla systemów monitorowania procesów, urządzeń i zagrożeń*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2017.
- [7] PN-EN 60079-28:2015-12: *Atmosfery wybuchowe – Część 28: Zabezpieczenie urządzeń oraz systemów transmisji wykorzystujących promieniowanie optyczne*.
- [8] Trenczek S.: *Przyrost stężenia tlenu węgla w czasie w zależności od źródła jego pochodzenia*, „Górnictwo i Geologia” 2014, 8, 3: 159–172.
- [9] Dokumentacja etapu 4 pt. „Algorytm identyfikacji przyczyn wzrostu stężenia CO” projektu pt. „Minimalizacja ryzyka występowania i zmniejszenie skutków zagrożenia pożarem i wybuchem w podziemnym górnictwie węglowym – MINFLIREX” (nr projektu RFCR-CT-2010-00005) realizowanego pod kierownictwem S. Trenczka. Instytut Technik Innowacyjnych EMAG, Katowice 2012 [praca niepublikowana].
- [10] *Zarządzenie nr 41 Prezesa Wyższego Urzędu Górniczego z dnia 7 maja 2018 r. w sprawie powołania Komisji do zbadania przyczyn i okoliczności tąpnięcia oraz wypadku zbiorowego, zaistniałych w dniu 5 maja 2018 r. w Jastrzębskiej Spółce Węglowej S.A. KWK „Borynia-Zofiówka-Jastrzębie”, Ruch „Zofiówka” w Jastrzębiu-Zdroju, Dz.Urz. WUG, poz. 100.*
- [11] Trenczek S.: *Analiza wskazań czujników telemetrycznych zabudowanych dla obserwacji aerologicznych i sejsmicznych w rejonie wstrząsu o energii $1,9 \times 10^8$ J zaistniałego w dniu 5.05.2018 r. o godzinie 10:58, który spowodował tąpnięcie ze skutkami w wyrobiskach wykonanych w pokładach 409/3 i 409/4 w JSW S.A. KWK „Borynia-Zofiówka-Jastrzębie” Ruch „Zofiówka”, w aspekcie określenia przyczyn zmian ich sekwencji przed i po zaistniałym tąpnięciu, przy uwzględnieniu aktywności sejsmicznej, w tym powodowanej robotami strzałowymi. Opracowanie wykonane na zlecenie WUG, 2018 [praca niepublikowana].*
- [12] Szlązak N., Trenczek S.: *Analiza zagrożenia metanowego, w kontekście tąpnięcia ze skutkami w wyrobiskach wykonanych w pokładach 409/3 i 409/4, zaistniałego w dniu 5.05.2018 r. o godzinie 10:58 w JSW S.A. KWK „Borynia-Zofiówka-Jastrzębie” Ruch „Zofiówka”, uwzględniająca stosowane metody prognozowania oraz działalność profilaktyczną. Opracowanie wykonane na zlecenie WUG, 2018 [praca niepublikowana].*

*dr hab. inż. STANISŁAW TRENCZEK,
prof. KOMAG
Instytut Techniki Górniczej KOMAG
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice
strenczek@komag.eu*