

Badania źródeł emisji tlenku węgla w kopalniach węgla kamiennego

Research of carbon oxide emission sources in hard coal mines

Przedstawiono wyniki pierwszych prac związanych z realizacją projektu fundacji Coal&Steel o nazwie MINFIREX, którego celem jest opracowanie metod i środków, których wdrożenie w systemach monitorowania przyczyni się do zmniejszenia ryzyka występowania i zmniejszenia skutków zagrożenia pożarowego w kopalniach węgla kamiennego. Przedmiotem pierwszego, realizowanego przez ITI EMAG etapu projektu było zebranie danych charakteryzujących przebiegi czasowe wywołane różnymi źródłami emisji tlenku węgla i przeprowadzenie prób ich opisu matematycznego. Przytoczono wykresy wybranych przebiegów czasowych uzyskanych z trzech kopalń węgla kamiennego przedstawiające sytuacje, w których dochodzi do wzrostu stężenia CO ponad wartości dopuszczalne. Omówiono przyjętą metodę modelowania przebiegów czasowych stężenia tlenku węgla, która w dalszych etapach projektu będzie wykorzystana do opracowania algorytmu identyfikacji źródeł emisji tlenku węgla w wyrobiskach kopalnianych.

The article features the results of preliminary works related to the execution of the MINFIREX project of the Coal & Steel foundation. The objective of the project is to work out methods and means whose implementation in monitoring systems will contribute to lower risk related to fire hazards, fire occurrence and reduced effects of fires in hard coal mines. The first stage of the project, carried out by the EMAG Institute, is focused on collecting data on time courses initiated by different sources of carbon oxide emission and trying to provide their mathematical description. Diagrams of selected time courses from three hard coal mines were presented. The diagrams feature situations with carbon oxide concentration increase above acceptable levels. The authors described the adopted method of modeling time courses of carbon oxide concentration. In the further stages of the project this method will be used to work out an algorithm for identifying the sources of carbon oxide emission in excavations.

1. WSTĘP

Znane są dodatkowe zabezpieczenia podziemnych robót wydobywczych zarówno przed zadymieniem bezpośrednim, jak i zadymieniem prądem odwróconym w przypadku pożaru w prądzie schodzącym powietrza.

Pomimo ogólnego wzrostu bezpieczeństwa w kopalniach węgla kamiennego, częstym zjawiskiem są

1. INTRODUCTION

In spite of general increase of safety parameters in hard coal mines, spontaneous fires caused by self-heating of coal remain frequent phenomena there.

These fires often lead to methane ignitions and explosions [8] and cause injuries, deaths and serious

pożary endogeniczne spowodowane samozagrzewaniem węgla. Pożary te często prowadzą do zapaleń i wybuchów metanu [8] i są przyczyną obrażeń, wypadków śmiertelnych i poważnych strat produkcji. Proces rozwoju pożaru endogenicznego charakteryzuje się powolnym wzrostem stężenia tlenu węgla w powietrzu kopalnianym o charakterystycznym przebiegu i często jest trudny do wykrycia w obecności zakłóceń i innych źródeł emisji tego gazu spowodowanych przyczynami naturalnymi i technologicznymi. Dlatego jako główny cel projektu MINFIREX określono zminimalizowanie ryzyka i skutków występowania zagrożenia pożarami i wybuchami, m.in. poprzez opracowanie nowych strategii zapobiegania pożarom i wybuchom oraz rozwój innowacyjnych metod i środków wczesnego wykrywania i likwidacji pożarów.

Pakiet tematyczny realizowany w ramach projektu przez ITI EMAG ma na celu opracowanie metody modelowania przebiegów czasowych stężenia tlenu węgla w wyrobiskach kopalnianych spowodowanych różnymi źródłami jego emisji, i na tej podstawie sformułowanie algorytmów ich rozpoznawania i odróżniania od objawów rozwijającego się pożaru. Algorytmy te, przetestowane metodą badań symulacyjnych i potwierdzone badaniami w wybranych kopalniach, posłużą do opracowania tzw. sprzętowo-programowego modułu identyfikacji źródeł tlenu węgla na podstawie wywołanego przez te źródła przebiegu czasowego, który to moduł może w przyszłości stanowić istotną część systemów monitorowania zagrożeń naturalnych.

W pierwszym etapie projektu, spośród kilkuset analizowanych przypadków przekroczeń dopuszczalnych wartości stężenia CO zarchiwizowanych w systemach monitorowania zagrożeń, wybrano reprezentatywny materiał badawczy w postaci kilkudziesięciu przebiegów czasowych, dokonano ich klasyfikacji według przyczyny wzrostu stężenia oraz przeprowadzono próby ich opisu matematycznego. W dalszej części artykułu przedstawiono niektóre wyniki przeprowadzonych badań na przykładzie danych pomiarowych pozyskanych z trzech kopalń Kompanii Węglowej S.A. Prezentowane przypadki nie obejmują przebiegów wywołanych pożarami, gdyż są one obszernie opisane i przeanalizowane w dostępnej literaturze [5,6,7,9]. Skoncentrowano się na przebiegach wywołanych przyczynami technologicznymi, które z punktu widzenia metodyki wykrywania pożarów należy traktować jako zakłócenia procesu stężenia CO. Występowanie technologicznych zaburzeń stężenia tlenu węgla stwarza szczególne trudności interpretacyjne, ponieważ ich przebieg w wielu przypadkach jest podobny do początkowej fazy narastania stężenia tlenu węgla podczas endogenicznego pożaru podziemnego [5,9].

production losses. The process of a spontaneous fire development is characterized by slow increase of carbon oxide concentration in the mine air. The process has a specific course and is frequently difficult to detect in the presence of disturbances and other sources of carbon oxide emission evoked by natural and technological causes. Therefore, the major objective of the MINFIREX project is to minimize the risk and consequences of fire hazards and explosions. This will be achieved, among others, by working out new strategies to prevent fires and explosions and to develop innovative methods and means for early detection and liquidation of fires.

The work package carried out by EMAG within the project is aimed at developing a method to model time courses of carbon oxide concentration in mine excavations caused by different sources of the gas emission. On this basis algorithms will be formulated to recognize and differentiate them from the symptoms of a developing fire. These algorithms, tested with the use of simulation methods and confirmed by tests performed in selected coal mines, will serve to develop the so called hardware-software module for the identification of carbon oxide sources on the basis of a time course evoked by these sources. In the future this module will be an important part of systems for natural hazards monitoring.

In the first stage of the project a representative testing material was selected from several hundred cases of exceeded carbon dioxide concentration that were archived in hazard monitoring systems. The material had a form of several dozen time courses which were classified according to the cause of concentration increase. Then mathematical description of the courses was attempted. In the further part of the article the authors presented some results of tests carried out on the basis of measurement data provided by three coal mines of Kompania Węglowa S.A. The presented cases do not include courses caused by fires as these are thoroughly described and analyzed in the literature [5,6,7,9]. Thus the authors focused on courses caused by technological reasons which, from the point of view of the fire detection methodology, should be treated as disturbances in the carbon oxide concentration process. The occurrence of technological disturbances in carbon oxide concentration is difficult to interpret because their courses are often similar to the initial phase of carbon oxide increase during a spontaneous underground fire [5, 9].

2. WYBRANE PRZYKŁADY ZAKŁÓCEŃ TECHNOLOGICZNYCH

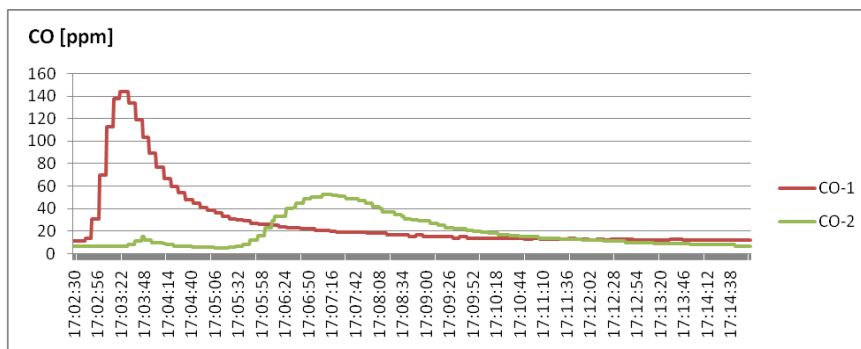
2.1. Roboty strzałowe

Na rysunkach 1 i 3 podano dwa przykłady przebiegów czasowych stężenia CO zarejestrowane przez dwa czujniki zabudowane w chodniku nadścianowym, oddalone od siebie o ok. 1000 m (czujnik CO-1 w pobliżu skrzyżowania z wyrobiskiem roboczym ściany, CO-2 na wylocie z rejonu).

Roboty strzałowe prowadzono w ślepych wyrobiskach dążonym w pobliżu początku wyrobiska podścianowego, dlatego przebiegi są stosunkowo wygładzone, przy czym stopień wygładzenia wzrasta wraz z odległością od źródła emisji gazu. Przebiegi prędkości przepływu powietrza, mierzone anemometrem zabudowanym obok czujnika CO-2, świadczą o znacznym zaburzeniu przewietrzania ściany, spowodowanym przepływem gazów postrzałowych (Rys. 2, 4).

2.2. Urządzenia transportowe z napędem spalinowym

Na rysunku 5 pokazano jeden z najbardziej charakterystycznych przebiegów czasowych przedstawiających zmiany stężenia tlenku węgla podczas pracy kolejki spalinowej wykorzystywanej do transportu materiałów w chodniku nadścianowym. Rysunek 6 jest zapisem zmian prędkości przepływu powietrza w miejscu zabudowy czujnika CO. Na wykresach widać wyraźny chwilowy wzrost stężenia tlenku węgla podczas przejazdu kolejki w pobliżu czujnika, podwyższone stężenia w czasie przebywania kolejki w obszarze przed czujnikiem oraz ponowny wzrost w czasie wyjazdu kolejki z chodnika. Moment przejazdu kolejki w pobliżu czujnika CO widoczny jest także na rysunku 6 w postaci krótkotrwałych zaburzeń prędkości przepływu powietrza.



Rys. 1. Przebieg czasowy stężenia CO podczas robót strzałowych – przykład 1
Fig. 1. Time course of carbon oxide concentration during blasting operations – example 1

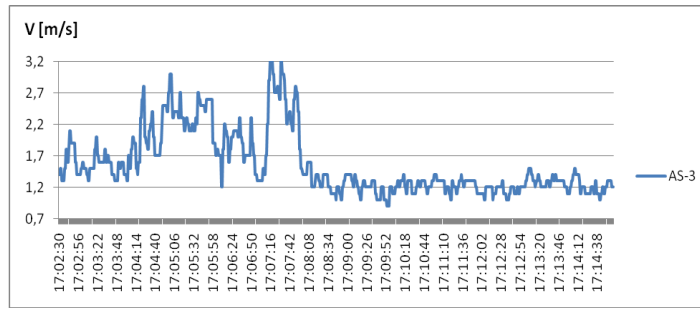
2. SELECTED EXAMPLES OF TECHNOLOGICAL DISTURBANCES

2.1. Blasting operations

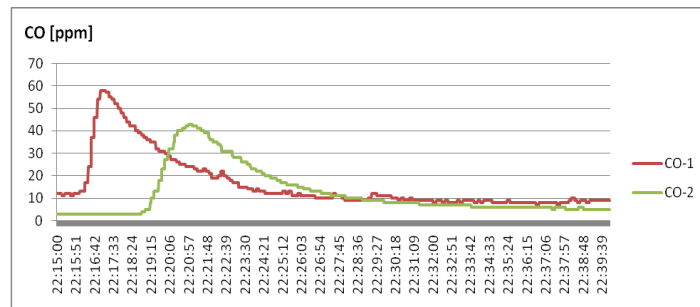
Figures 1 and 3 feature two examples of time courses of carbon oxide concentration registered by two sensors fixed in a top road about 1,000 m from each other (sensor CO-1 next to the crossroads with a working excavation of the face, sensor CO-2 at the exit from the area). Blasting operations were carried out in a blind drift driven close to the beginning of a bottom road, that is why the curves are relatively smooth. Besides, the degree of smoothness increases proportionally to the distance from the gas emission source. Velocity courses of air flow, measured by an anemometer fixed near the CO-2 sensor, are evidence of a significant disturbance in the face ventilation caused by the flow of aftergases (Fig. 2, 4).

2.2. Combustion-driven transport vehicles

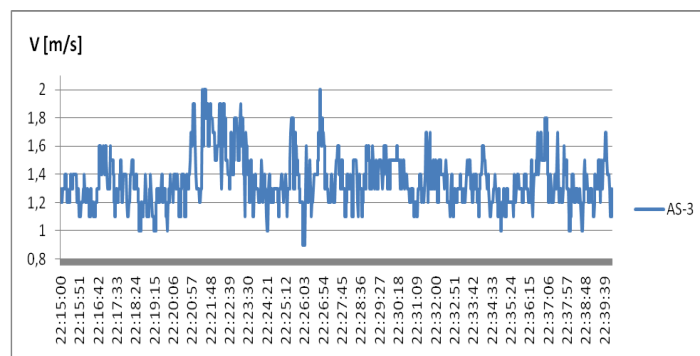
Figure 5 features one of the most characteristic time courses which shows changes in carbon oxide concentration during the work of a combustion train used to transport materials in a top road. Figure 6 is the record of changes in the air flow velocity in the place where a CO sensor is fixed. The diagrams show clearly a temporary increase in carbon oxide concentration while the train passes by the sensor, increased concentrations while it moves in the area in front of the sensor, and another increase when the train leaves the road. The moment when the train passes by the CO sensor can be also visible in Figure 6 in the form of short disturbances in the air flow velocity.



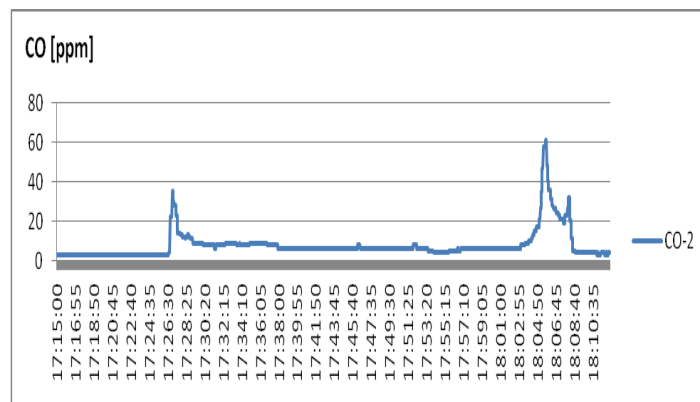
Rys. 2. Wykres prędkości przepływu powietrza – strzelanie, przykład 1
 Fig. 2. Air flow velocity diagram – blasting, example 1



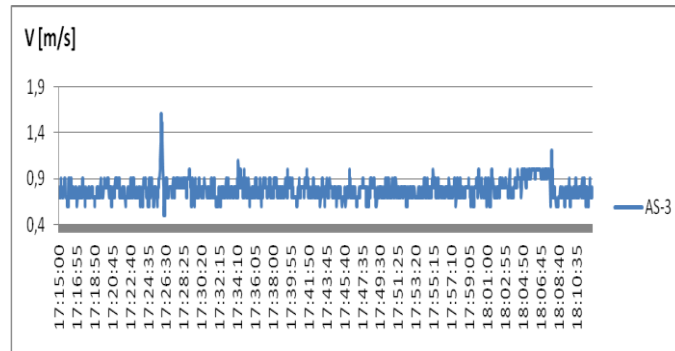
Rys. 3. Przebieg czasowy stężenia CO podczas robót strzałowych – przykład 2
 Fig. 3. Time course of carbon oxide concentration during blasting operations – example 2



Rys. 4. Wykres prędkości przepływu powietrza – strzelanie, przykład 2
 Fig. 4. Air flow velocity diagram – blasting, example 2



Rys. 5. Przebieg czasowy stężenia CO – kolejka, przykład 2
 Fig. 5. Time course of carbon oxide concentration – train, example 2



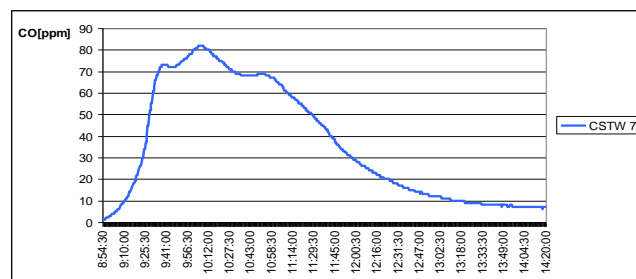
Rys. 6. Wykres prędkości przepływu powietrza – kolejka, przykład
Fig. 6. Air flow velocity diagram – train, example 1

2.3. Przykłady innych zakłóceń technologicznych

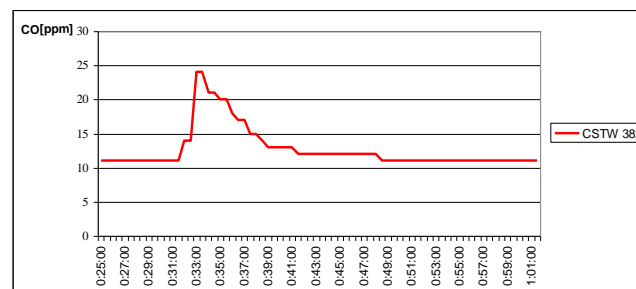
Na kolejnych rysunkach zamieszczono wybrane przebiegi czasowe zmian stężenia tlenku węgla spowodowane pracami spawalniczymi (Rys. 7) i operacją podsadzania zrobów materiałami poflotacyjnymi (Rys. 8). Wykresy te wybrano spośród kilkunastu przypadków będących do dyspozycji autorów, a na podstawie wizualnej analizy stwierdzono, że w odróżnieniu od wcześniejszych przykładów, przebiegi te charakteryzują się dużą różnorodnością, zarówno pod względem czasu trwania, jak i charakteru przebiegu. Wynika to w oczywisty sposób z różnic w harmonogramie i intensywności prowadzonych prac.

2.3. Examples of other technological disturbances

Successive figures present selected time courses of changes in carbon oxide concentration caused by welding operations (Fig. 7) and goaf stowing with post-flotation materials (Fig. 8). The diagrams were selected from over a dozen cases the authors had access to. Based on visual analysis it was determined that, contrary to previous examples, the courses vary with respect to both duration and characteristics. This situation obviously results from differences in the schedule and intensity of performed works.



Rys. 7. Przebieg procesu spawania
Fig. 7. Time course of carbon oxide concentration during welding operation



Rys. 8. Przykład przebiegu procesu podsadzania zrobów
Fig. 8. Time course of carbon oxide concentration during goaf stowing

3. MODELOWANIE PRZEBIEGÓW STĘŻENIA TLENKU WĘGLA

3.1. Podstawy przyjętej metodyki badań

Próby wyznaczania modeli matematycznych przebiegów czasowych stężenia tlenku węgla wywołanych różnymi, występującymi w kopalniach źródłami emisji CO, oparto w głównej mierze na wnioskach z wcześniejszych prac dotyczących analizy sygnałów pomiarowych parametrów wentylacji kopalnianej [2,4,5,7]. W pracach tych stwierdza się, że w sygnale pomiarowym c_t stężenia tlenku węgla można w ogólnym przypadku wydzielić następujące składowe addytywne:

- zmiany P_{tendo} stężenia tlenku węgla podczas rozwijającego się ogniska samozapalenia węgla lub otwartego pożaru endogenicznego,
- zmiany P_{tegz} stężenia tlenku węgla podczas pożaru egzogenicznego,
- zmiany S_{tgp} stężenia tlenku węgla w gazach postrzałowych,
- zmiany S_{tgs} stężenia tlenku węgla w gazach spawalniczych,
- zmiany S_{tmd} stężenia tlenku węgla podczas pracy maszyny z silnikiem Diesla,
- zmiany S_{tzp} stężenia tlenku węgla podczas podszadzenia w zrobach zawałowych,
- składową losową L_t reprezentującą przypadkowe zmiany stężenia tlenku węgla.

Sygnał pomiarowy c_t stężenia tlenku węgla można zatem przedstawić w postaci sumy wymienionych składowych jako:

$$c_t = P_{tendo} + P_{tegz} + S_{tgp} + S_{tgs} + S_{tmd} + S_{tzp} + L_t \quad (1)$$

Modelem składowej losowej L_t jest niestacjonarny proces stochastyczny, który można przedstawić w postaci sumy składowych

$$L_t = x_t + y_t \quad (2)$$

gdzie składowa y_t reprezentuje wszelkie niestacjonarnośći składowej losowej sygnału pomiarowego c_t , a x_t jest składową stacjonarną sygnału pomiarowego c_t .

3. MODELLING THE COURSES OF CARBON OXIDE CONCENTRATION

3.1. Principles of adopted testing methodology

The trials to determine mathematical models of CO concentration time courses, caused by different sources of carbon oxide emission in coal mines, were chiefly based on conclusions from previous works dealing with the analyses of mine ventilation measurement parameters [2, 4, 5, 7]. In these works it has been declared that in the c_t measurement signal of carbon oxide concentration it is possible, in a general case, to distinguish the following additive components:

- P_{tendo} changes in carbon oxide concentration during a developing centre of coal self-inflammation or an open spontaneous fire,
- P_{tegz} changes in carbon oxide concentration during an open fire,
- S_{tgp} changes in carbon oxide concentration in aftergases,
- S_{tgs} changes in carbon oxide concentration in welding gases,
- S_{tmd} changes in carbon oxide concentration during the work of a Diesel-engine machine,
- S_{tzp} changes in carbon oxide concentration during goaf stowing,
- L_t random component representing random changes in carbon oxide concentration.

Thus the c_t measurement signal of carbon oxide concentration can be presented in the form of a sum of components, as:

$$c_t = P_{tendo} + P_{tegz} + S_{tgp} + S_{tgs} + S_{tmd} + S_{tzp} + L_t \quad (1)$$

The model of the L_t random component is a non-stationary stochastic process which can be presented in the form of a sum of components

$$L_t = x_t + y_t \quad (2)$$

where the y_t component represents all non-stationary characteristics of the random component of the c_t measurement signal, while x_t is a stationary component of the c_t measurement signal.

Uwzględniając cel badań w dalszej części rozważa się przebiegi P_{tendo} , P_{tego} (objawy pożaru) oraz S_{tgp} , S_{tgs} , S_{tmd} i S_{tzc} (zakłócenia technologiczne). Jako modele tych składowych zaproponowano nielosowe deterministyczne funkcje czasu będące kombinacją funkcji potęgowych i wykładniczych. Modele składowych deterministycznych charakteryzują się przebiegiem rosnącym do osiągnięcia maksimum i następnie opadaniem oraz występowaniem punktu przegięcia w narastającej części przebiegu. Wyjątkiem jest składowa pożaru egzogenicznego, charakteryzująca się brakiem punktu przegięcia w narastającej i opadającej części przebiegu.

Przeprowadzone obliczenia wykazały, że modele wszystkich składowych sygnału pomiarowego stężenia tlenu węgla, prócz przebiegu pożaru egzogenicznego, można, z określoną dokładnością, przedstawić za pomocą nielosowych funkcji czasu postaci:

$$Z(t) = at^b e^{-ct}, \quad t \geq 0 \quad (3)$$

Przebieg pożaru egzogenicznego opisuje równanie:

$$Z(t) = \begin{cases} at^b & \text{dla } t \leq t_m \\ x_m e^{-c(t-t_m)} & \text{dla } t > t_m \end{cases} \quad (4)$$

gdzie t_m jest chwilą, w której funkcja Z osiąga wartość maksymalną (punkt wystąpienia otwartego ognia).

3.2. Wyznaczanie parametrów modeli składowych sygnału stężenia tlenu węgla

Przyjmując model składowej deterministycznej sygnału pomiarowego tlenu węgla w postaci funkcji $Z(t)$ wg wzoru (3) lub (4) i dysponując ciągiem (szeregiem czasowym) obliczonych wartości Z_i dla $i=1, \dots, n$ można wyznaczyć współczynniki a , b i c korzystając z metody aproksymacji średniokwadratowej [3], której idea polega na minimalizacji sumy

$$S(a, b, c) = \sum_{i=1}^n [Z(t_i, a, b, c) - Z_i]^2 \quad (5)$$

względem współczynników a , b i c . Do minimalizacji funkcji S można zastosować w zasadzie dowolną iteracyjną metodę rozwiązywania układu równań nieliniowych [1], przyjmując jako kryterium zakończenia obliczeń określoną wartość błędów w postaci:

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \sqrt{S_{\min}} \quad (6)$$

gdzie S_{\min} jest minimalną wartością funkcji S obliczoną według wzoru (5) dla optymalnych wartości współczynników a , b i c .

With respect to the research objective, the P_{tendo} , P_{tego} courses (fire symptoms) and S_{tgp} , S_{tgs} , S_{tmd} i S_{tzc} courses are considered further on. As models of these components, non-random deterministic functions were proposed which are a combination of power functions and exponential functions. The models of deterministic components are characterized by an ascending course up to a maximum and then descending, as well as the occurrence of an inflection in the ascending part of the course. The exception is the component of an open fire which is characterized by the lack of inflections in the ascending and descending parts.

The performed calculations demonstrated that the models of all components of the measurement signal of carbon oxide concentration, except the open fire course, can be presented, with certain precision, by means of non-random time functions as:

$$Z(t) = at^b e^{-ct}, \quad t \geq 0 \quad (3)$$

The course of an open fire is described by the following equation:

$$Z(t) = \begin{cases} at^b & \text{dla } t \leq t_m \\ x_m e^{-c(t-t_m)} & \text{dla } t > t_m \end{cases} \quad (4)$$

where t_m is a moment when the Z function is at its maximum (point of an open fire occurrence).

3.2. Determining the parameters of component models of the carbon oxide concentration signal

We assume the model of the deterministic component of the carbon oxide measurement signal as the function $Z(t)$ according to the equation (3) or (4), and have at our disposal a sequence of calculated values Z_i for $i=1, \dots, n$. This way it is possible to determine the a , b and c coefficients with the use of the least-squares approximation method [3] whose idea is based on the minimization of the following sum:

$$S(a, b, c) = \sum_{i=1}^n [Z(t_i, a, b, c) - Z_i]^2 \quad (5)$$

with respect to a , b and c coefficients. To minimize the S function it is possible to use basically any iteration method for solving the nonlinear equations system [1], adopting as a criterion for completing the calculations a particular error value in the following form:

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \sqrt{S_{\min}} \quad (6)$$

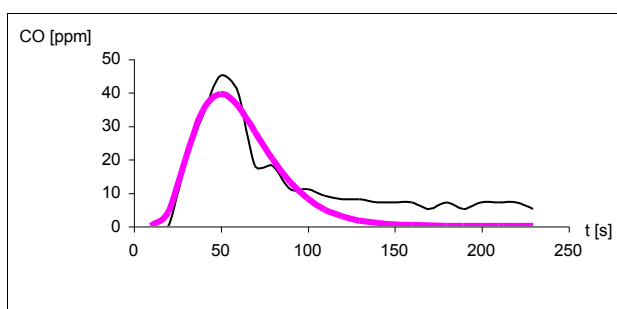
where S_{\min} is a minimum value of the S function calculated according to the equation (5) for optimum values of a , b and c coefficients.

3.3. Przykłady wyznaczania parametrów modelu

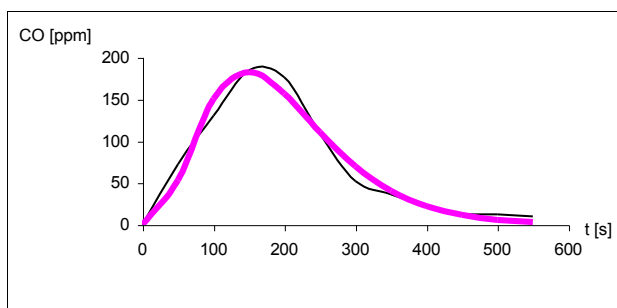
Poniższe przykłady ilustrują opisaną w poprzednim rozdziale metodę wyznaczania składowej nielosowej zarejestrowanych przebiegów czasowych stężenia tlenu węgla, czyli tej części procesu, która z punktu widzenia profilaktyki pożarowej ma największe znaczenie. Na kolejnych rysunkach 9, 10, 11 przedstawiono przebiegi reprezentujące przebiegi zmian stężenia tlenu węgla wywołane zakłóceniami technologicznymi oraz wyznaczone drogą obliczeń ich modele matematyczne opisane równaniem (3). Rysunek 12 przedstawia aproksymację przebiegu pożaru egzogenicznego według równania (4).

3.3. Examples of determining model parameters

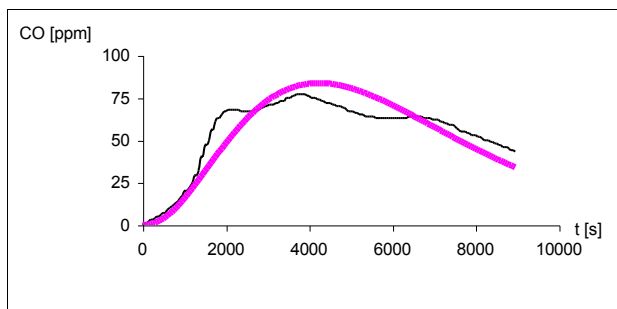
The examples below illustrate the method, described in the previous section, to determine a non-random component of registered time courses of carbon oxide concentration, i.e. this part of the process which is the most important from the point of view of fire prevention. Successive figures 9, 10 and 11 show courses of the changes in carbon oxide concentration caused by technological disturbances, as well as their mathematical models – determined by means of calculations and described by the equation (3). Figure 12 presents the approximation of an open fire course according to the equation (4).



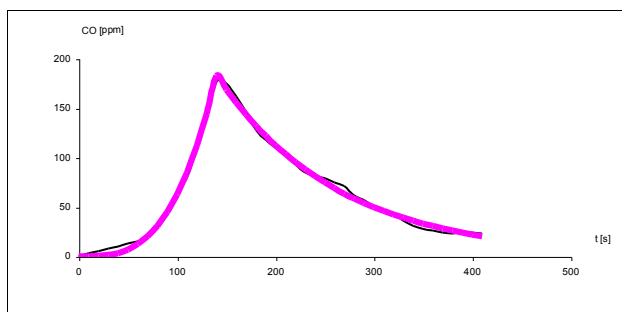
Rys. 9. Model przebiegu CO po przejeździe kolejki z napędem spalinowym ($a = 0.002739$, $b = 3.56$, $c = 0.089$)
 Fig. 9. CO course model after the passing of a combustion-driven train ($a = 0.002739$, $b = 3.56$, $c = 0.089$)



Rys. 10. Model przebiegu CO po strzelaniu ($a = 0.001428$, $b = 2.95$, $c = 0.02$)
 Fig. 10 CO course model after blasting ($a = 0.001428$, $b = 2.95$, $c = 0.02$)



Rys. 11. Model przebiegu CO podczas prac spawalniczych ($a = 0.000001$, $b = 2465$, $c = 0.0000582$)
 Fig. 11. CO course model during welding operations ($a = 0.000001$, $b = 2465$, $c = 0.0000582$)



Rys. 12. Model przebiegu CO podczas prac spawalniczych
($a = 0.000028$, $b = 3.173$, $c = 0.008155$)

Fig. 12. CO course model during welding operations
($a = 0.000028$, $b = 3.173$, $c = 0.008155$)

4. PODSUMOWANIE

Szeregi czasowe reprezentujące zakłócenia procesu stężenia tlenu węgla w wyrobiskach kopalnianych spowodowane czynnościami technologicznymi charakteryzują się znaczną różnorodnością, zarówno pod względem czasu trwania zjawiska, jak i amplitudy. Tym niemniej, z wyjątkiem niektórych zdarzeń (podstawianie zrobów, prace spawalnicze), można je ze stosunkowo dużą dokładnością opisać modelem matematycznym w postaci iloczynu funkcji wykładniczych modelujących część wzrostową i opadającą. Zmienność kształtu, amplitudy i horyzontu czasowego szeregów wyrażają wartości współczynników modelu obliczone dla każdego analizowanego przypadku. Identyfikacja przyczyny zarejestrowanego zjawiska bez użycia specjalnego aparatu matematycznego jest zadaniem trudnym, ponieważ większość przebiegów w swej początkowej fazie jest podobna. Dlatego w dalszych badaniach przewiduje się wykorzystanie do tego celu profesjonalnych algorytmów analizy szeregów czasowych (m.in. DTW – *Dynamic Time Warping*) oraz algorytmy maszynowego uczenia się.

Literatura

1. Findeisen W., Szymanowski J., Wierzbicki A.: Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji. PWN Warszawa 1980.
2. Krzysztanek Z., Szywacz J., Wasilewski S.: Algorytmy wczesnego wykrywania pożarów podziemnych. Mechanizacja i Automatyzaacja Górnictwa 1982, nr 11.
3. Box G.E.P., Jenkins G.M.: Analiza szeregów czasowych. PWN Warszawa 1983.
4. Krzysztanek Z., Szywacz J., Wasilewski S.: Analiza sygnałów stochastycznych w wentylacji kopalnianej. Praca CNPEiAG EMAG. Katowice 1984.

4. CONCLUSIONS

Time series representing disturbances in the carbon oxide concentration process in mine excavations, caused by technological operations, are characterized by great diversity, in terms of both the phenomenon duration and amplitude. Nevertheless, with the exception of some events (goaf stowing, welding operations), they can be described with relatively high precision by means of a mathematical model in the form of the product of exponential functions which model the ascending and descending parts. The changes in the shape, amplitude and time horizon of the series express the values of model coefficients calculated for each analyzed case. The identification of the cause of a registered event is very difficult without a special mathematical apparatus as most courses are similar to one another in their initial phases. Therefore in the further research it is expected to use for this purpose professional algorithms of time series analysis (such as DTW – *Dynamic Time Warping*) and machine learning algorithms.

References

1. Findeisen W., Szymanowski J., Wierzbicki A.: Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji. PWN Warszawa 1980.
2. Krzysztanek Z., Szywacz J., Wasilewski S.: Algorytmy wczesnego wykrywania pożarów podziemnych. Mechanizacja i Automatyzaacja Górnictwa 1982, issue 11.
3. Box G.E.P., Jenkins G.M.: Analiza szeregów czasowych. PWN Warszawa 1983.
4. Krzysztanek Z., Szywacz J., Wasilewski S.: Analiza sygnałów stochastycznych w wentylacji kopalnianej. Praca CNPEiAG EMAG. Katowice 1984.

5. Szywacz J.: Modelowanie sygnałów stężenia tlenku węgla. Materiały 1 Szkoły Aerologii Górniczej. Zakopane 1999.
6. Stojewska U., Bojko B., Krzystanek Z.: Niektóre przykłady wykorzystania systemu SMP w warunkach zagrożenia pożarowego. Materiały 1 Szkoły Aerologii Górniczej. Zakopane 1999.
7. Szywacz J.: Modelowanie matematyczne przebiegów czasowych stężenia tlenku węgla dla wczesnego wykrywania pożarów podziemnych. Prace Naukowe Badawcze- Wdrożeniowe Centrum EMAG, Katowice 2001.
8. Wasilewski S.: Stany nieustalone parametrów powietrza wywołane katastrofami oraz zaburzeniami w sieci wentylacyjnej kopalni. CEiAG EMAG, Rozprawy i Monografie. Katowice, 2005.
9. Szywacz J.: Zastosowanie modeli przebiegów czasowych stężenia tlenku węgla do oceny zagrożenia pożarowego w podziemiach kopalń. Materiały 4 Szkoły Aerologii Górniczej. Kraków 2006.
5. Szywacz J.: Modelowanie sygnałów stężenia tlenku węgla. Materiały 1 Szkoły Aerologii Górniczej. Zakopane 1999.
6. Stojewska U., Bojko B., Krzystanek Z.: Niektóre przykłady wykorzystania systemu SMP w warunkach zagrożenia pożarowego. Materiały 1 Szkoły Aerologii Górniczej. Zakopane 1999.
7. Szywacz J.: Modelowanie matematyczne przebiegów czasowych stężenia tlenku węgla dla wczesnego wykrywania pożarów podziemnych. Prace Naukowe Badawcze- Wdrożeniowe Centrum EMAG, Katowice 2001.
8. Wasilewski S.: Stany nieustalone parametrów powietrza wywołane katastrofami oraz zaburzeniami w sieci wentylacyjnej kopalni. CEiAG EMAG, Rozprawy i Monografie. Katowice, 2005.
9. Szywacz J.: Zastosowanie modeli przebiegów czasowych stężenia tlenku węgla do oceny zagrożenia pożarowego w podziemiach kopalń. Materiały 4 Szkoły Aerologii Górniczej. Kraków 2006.

Recenzent: dr inż. Stanisław Trenczek

ИССЛЕДОВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ ОКИСИ УГЛЕРОДА В КАМЕННОУГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Представлены результаты первых работ, связанных с реализацией проекта фонда Coal & Steel, имеющего акроним MINFIREX, целью которого является разработка методов и средств, внедрение которых в системах мониторинга будет способствовать уменьшению риска возникновения и ограничению последствий пожарной опасности в каменноугольных шахтах. Предметом первого, реализуемого ИИТ ЭМАГ этапа проекта было собрание данных, характеризующих графики, вызванные разными источниками эмиссии окиси углерода и попытка их математического описания. Приведены графики выбранных временных зависимостей, полученных с трех каменноугольных шахт, представляющие ситуации, в которых доходит до роста концентрации СО, превышающей допустимые значения. Обсуждается принятый метод моделирования временных зависимостей концентрации окиси углерода, который в дальнейших этапах проекта будет использован для разработки алгоритма идентификации источников эмиссии окиси углерода в выработках шахт.