

Monitoring and prediction of methane emission in the longwall and possibilities to control the longwall system

Monitoring systems which are applied in mining today are based on solutions developed in 1990s. The knowledge about methane emission from rock mass and goafs, occurring during the longwall-based coal cutting process, has been well systematized. Normally, methane concentration is measured at the face ends. However, in the light of accidents which have happened over the last few years, such a solution does not seem to be sufficient in certain conditions. Extra measurement points inside the longwall make it possible to monitor methane concentration as they enable a faster reaction to methane hazards in this area. What is more, it is possible to have short-term prediction of methane hazards of relatively high accuracy. The paper presents methane hazard monitoring methods that have been used so far. It also describes a proposed system for measuring and predicting methane concentration in the longwall and for using the obtained knowledge about methane concentrations to control the operations of a cutter-loader. Finally, the author presented the results of experimental research to illustrate the efficiency of the system.

Keywords: methane concentration monitoring systems, methane concentration prediction, longwall system control.

1. INTRODUCTION

Monitoring methane hazards in the longwall is carried out with the use of stationary methane measurement systems whose sensors are installed at the face ends. This method of monitoring has been used in the mining industry for years [2, 4, 5, 6, 9, 10, 12]. Only in certain cases the monitoring inside the longwalls is used. When analyzing accidents which have happened over the last few years one can observe that it is possible to have an explosive atmosphere in the longwall in spite of the applied ventilation. In certain cases the applied methane protection measures proved to be insufficient as a methane explosion or ignition happened anyway. The applied protection systems are focused on the hazard identification: they detect a gas mixture (with concentration more than 2% CH₄) in the air and react to the hazard by switching off electrical energy as a chief source of the potential initial factor [11, 12, 13]. Unfortunately, such methods do not protect sufficiently against methane explosion hazards. The reason is an insufficient number

of sensors as well as the method and places of their distribution.

Most longwalls in Poland are about 250 m long. If methane meters are installed at the face ends and the average air velocity is 1.6 m/s, there is a 2.5 minute delay in the gas propagation along the longwall. If methane is emitted at the face end, we will know about its concentration no sooner than about two minutes later. If the volume of emission is large, methane might not be diluted and then, in spite of real danger, the devices working in the longwall will not be switched off. Therefore it is necessary to consider extra measuring devices in the longwall area so that methane measurements could be carried out as close to the emission source as possible. With more data available, it could be possible to predict methane concentration at the face end and generate a feedback control signal for the cutter-loader. Further in the article the author presented methane measurement systems functioning in today's coal mines as well as the concept of a system which enables to measure methane concentration in the longwall, predict this concentration and use the obtained knowledge to control

the cutter-loader operations. In addition, the article features the results of tests illustrating the emission of methane with the concentration of 5% CH₄ in short-term perspective.

The possibility of short-term prediction was checked by means of an experiment. The experiment was based on installing methane sensors in the excavation and provoking ventilation disturbances in the longwall. Then the achieved results were used for calculations and simulations. In addition, the article features the concept of a system for measuring methane concentration in the excavation.

2. SHORT-TERM PREDICTION OF METHANE CONCENTRATION

In order to conduct experimental research related to methane concentration monitoring and prediction in the longwall area, a testing environment was prepared in a Polish hard coal mine.

Due to the regulations on the use of devices and machines in the conditions of methane explosion hazards [8], it was not possible to extend the func-

tionality of the automatic methane measurement system used in the mine by installing extra methane meters to it. Therefore the experiment was conducted in a relatively short period of time. The longwall area had the following characteristics:

- the exploited bed was classified into the 4th methane hazard category,
- excavations in the longwall area were identified as places with the “c” degree of methane explosion hazard,
- absolute methane-bearing capacity of the longwall was no less than 15 m³/min,
- an experimental change in ventilation conditions resulted in changes of the migration of goafs gases towards the excavation,
- a change in ventilation conditions could not have negative impact on the security in the longwall area,
- changes in methane concentration in the longwall area were monitored by the automatic methane measurement system functioning in the mine and by extra individual methane meters installed solely for the time of the experiment,
- extra individual methane meters were located in the area near the goafs and in the cutting zone.

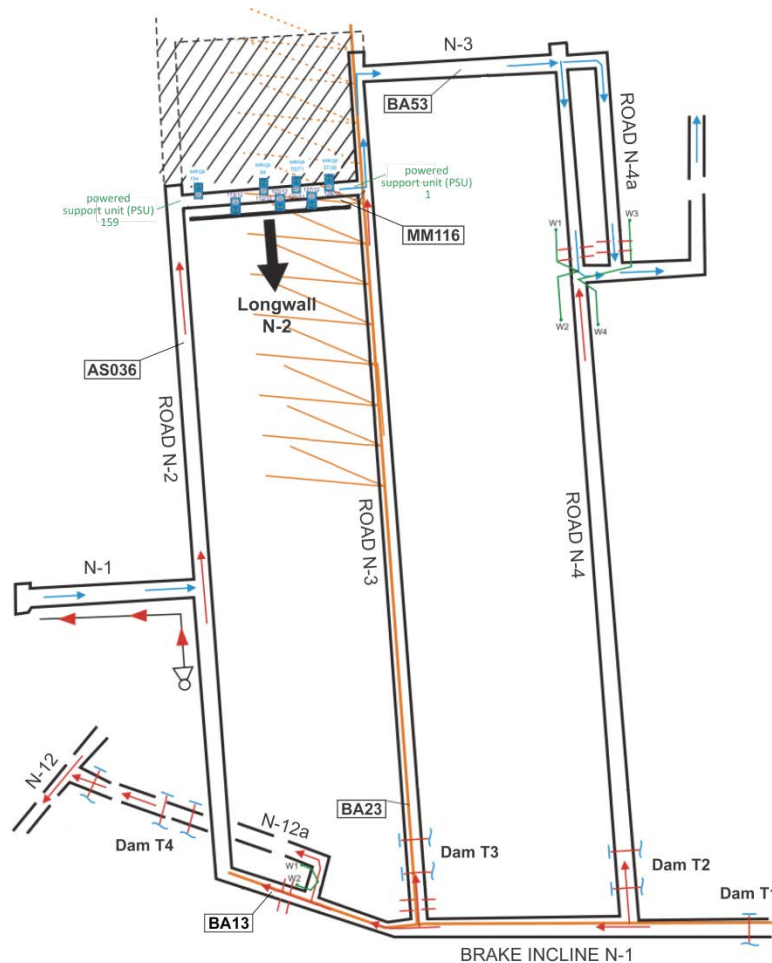


Fig. 1. Diagram of N-2 longwall

Thus, the tests covered the longwall with the area near the goafs. Planned regulations in the sub-networks of particular areas were meant to force the flow of methane from the goafs to the longwall. During the experiments the longwall was not working, therefore there were no changes detected in methane concentration in the cutting zone, which could occur otherwise due to coal

cutting and transport. Nevertheless, this situation did not exclude possible changes in methane concentration caused by the migration of gases from the goafs to the zone where the experiment was conducted.

Figure 1 features a diagram of the longwall where the experiment was conducted.

Table 1.

Methane meters installed in the N-2 longwall area, bed 404/2

No	ID	Location	Excavation zone
1	MM148	N-2 longwall – 10 m from N-2 road	central
2	AS038	N-2 road – 150 m in front of N-2 longwall	central
3	PMM103	N-2 longwall, sections 82-83	central
4	PMM113	N-2 longwall, sections 137-138	cutting
5	PMM120	N-2 longwall, sections 22-23	cutting
6	PMM123	N-2 longwall, sections 108-109	cutting
7	PMM127	N-2 longwall, sections 52-53	cutting
8	PMM112	N-2 longwall, sections 94-95	cutting
9	PMM117	N-2 longwall, sections 123-124	near the goafs
10	PMM121	N-2 longwall, sections 68-69	near the goafs
11	PMM124	N-2 longwall, section 155	near the goafs
12	PMM128	N-2 longwall, sections 37-38	near the goafs
13	MM116	N-2 longwall – up to 2 m from the crossing with N-3 raise	near the goafs
14	AS072	N-3 raise	central

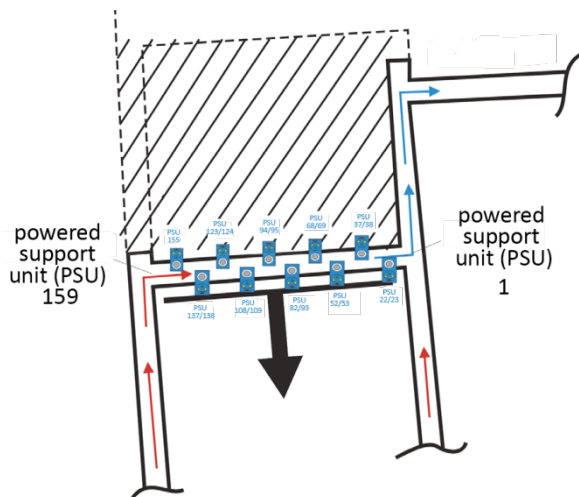


Fig. 2. N-2 longwall with extra portable methane meters installed

In the N-2 longwall area the methane concentration level was monitored simultaneously by the following devices: individual PMM-1 methane meters installed before and during the experiments, stationary MM-2 and MM-2PW meters which were the elements of automatic methane measurement, and other devices operating within the SMP-NT/A monitoring system.

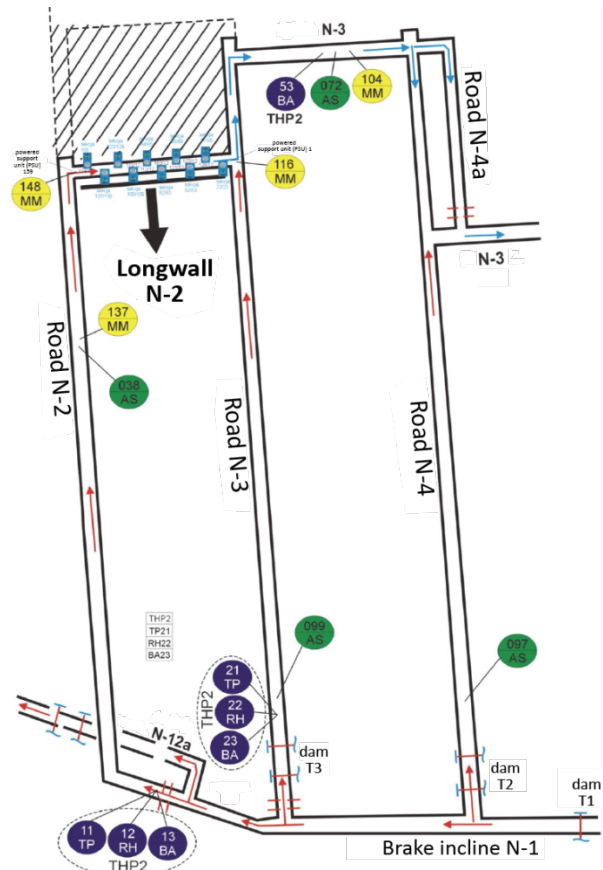


Fig. 3. Distribution of stationary sensors in N-2 longwall area during experiments

The selection and location of individual and stationary methane meters are presented in Table 1 and Fig. 2 and 3.

In the case of the N-2 longwall, where the experiment was carried out, the sub-network regulation was based on closing and insulating the air dam of the N-2 incline near the fresh air exit. The experimentation plan assumed the following:

- installation of 10 PMM-1 sensors in the N-2 longwall,
- closing the air dam at the entrance to the N-1 incline,
- complete closing of the dam in the N-1 incline,

- opening the dams in the N-3 road,
- closing the dam in the N-3 road,
- completing the measurements; please note that the emergency stopping of the experiments and closing the dam in the N-3 road were to take place after the increase of methane concentration to 2.0% had been observed,
- return to the original ventilation state.

After the experiment, the portable sensors were uninstalled and the data stored in their memory were saved in text files for further analyses. Figures 4 and 5 features the waveforms of methane concentrations registered by selected sensors.

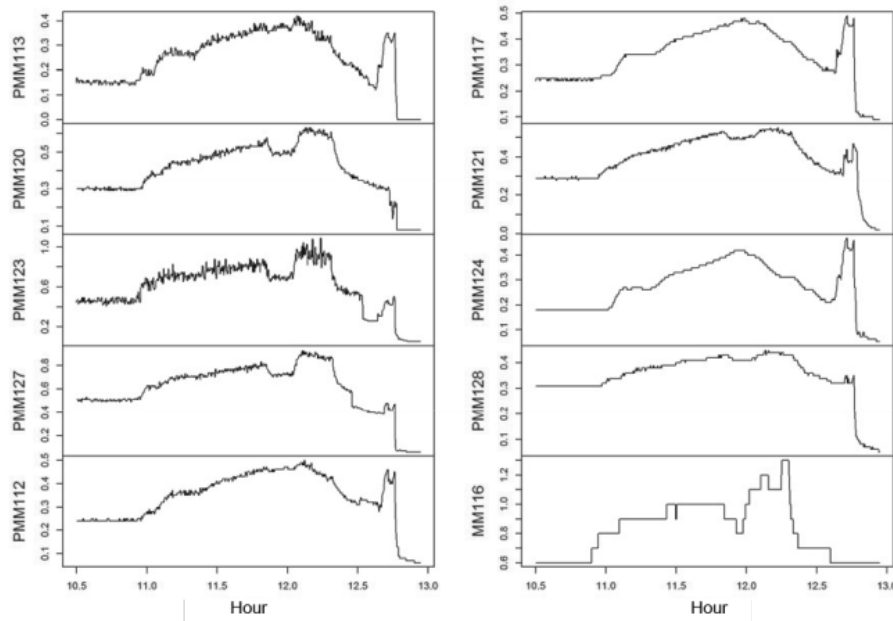


Fig. 4. Waveforms of changing methane concentrations registered by individual methane meters installed in N-2 longwall area

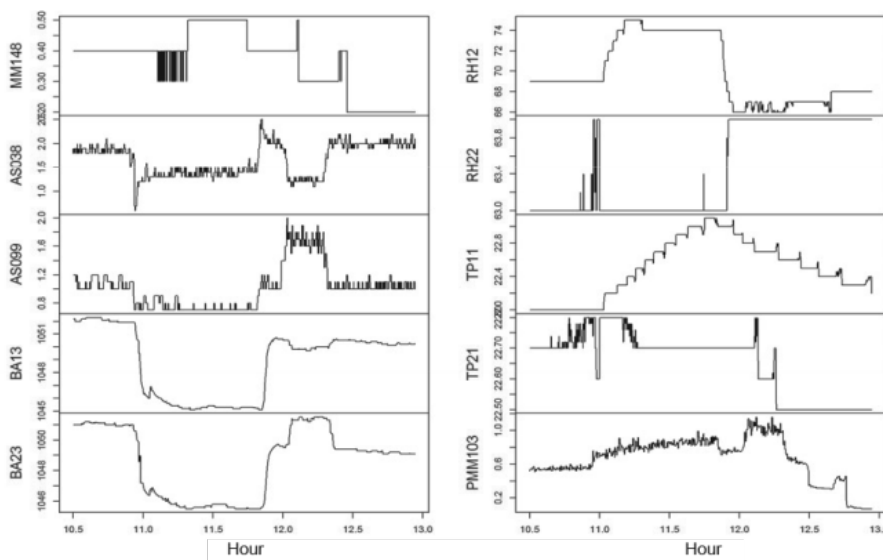


Fig. 5. Waveforms of changing methane concentrations registered by stationary measurement devices installed in N-2 longwall area

2.1. Prognosis

At the first stage of the analysis a variable correlation matrix was prepared. This way it was possible to answer the question which variables have the biggest impact on the dependent variable.

The dependent variable covered the readings of the MM116 sensor, while the prediction horizon was three minutes. The subject of the prediction was not the exact value of methane concentration but its maximal value which will be registered by MM116 in the period of 3 minutes + 30 seconds.

It is important to note that when the prognostic model was prepared the previous values of the dependent variable were not used, i.e. the values which are already known while generating the prognosis.

Then a ranking of explanatory variables was prepared, i.e. the variables which were used for the prediction. The ranking (Fig. 6) was made according to the absolute value of the correlation coefficient with the dependent variable (the higher is the value, the bigger is the impact of the variable on the predicted value). The ranking is presented in Table 2.

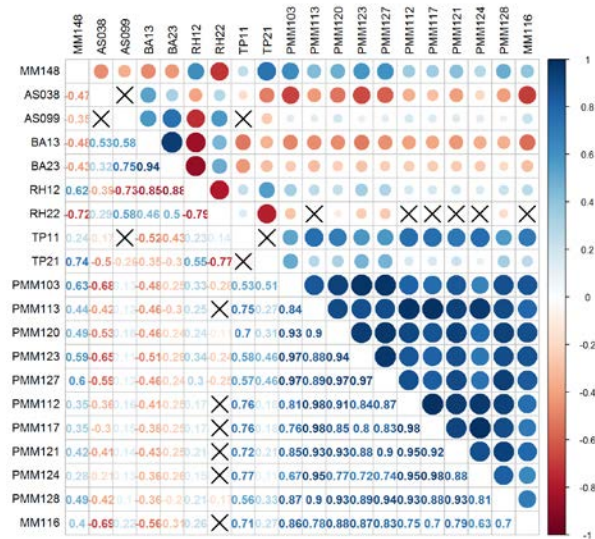


Fig. 6. Correlation matrix of sensors in N-2 longwall (statistically insignificant correlations are marked with X)

Table 2.

Ranking of explanatory variables correlated with respect to MM116 methane meter

Sensor	Correlation	Correlation strength
PMM120 (longwall)	0.8769	very strong
PMM123 (longwall)	0.8660	very strong
PMM103 (longwall)	0.8576	very strong
PMM127 (longwall)	0.8328	very strong
PMM121 (goafs)	0.7860	strong
PMM113 (longwall)	0.7839	strong
PMM112 (goafs)	0.7543	strong
TP11	0.7055	strong
PMM117 (goafs)	0.7024	strong
PMM128 (goafs)	0.6982	strong
AS038	-0.6942	strong
PMM124 (goafs)	0.6334	strong
BA13	-0.5555	moderate
MM148	0.3988	none
BA23	-0.3056	none
TP21	0.2665	none
RH12	0.2619	none
AS099	0.2197	none
RH22	-0.0234	none

Regression rules induction [7] was used as a method to make the prognostic model. This type of analysis is similar to linear regression. However, in regression rules as well as regression trees [1] different

linear models are used depending on the values of independent variables. It is worth noticing that time series forecasting method [3] was also used to methane prognosis.

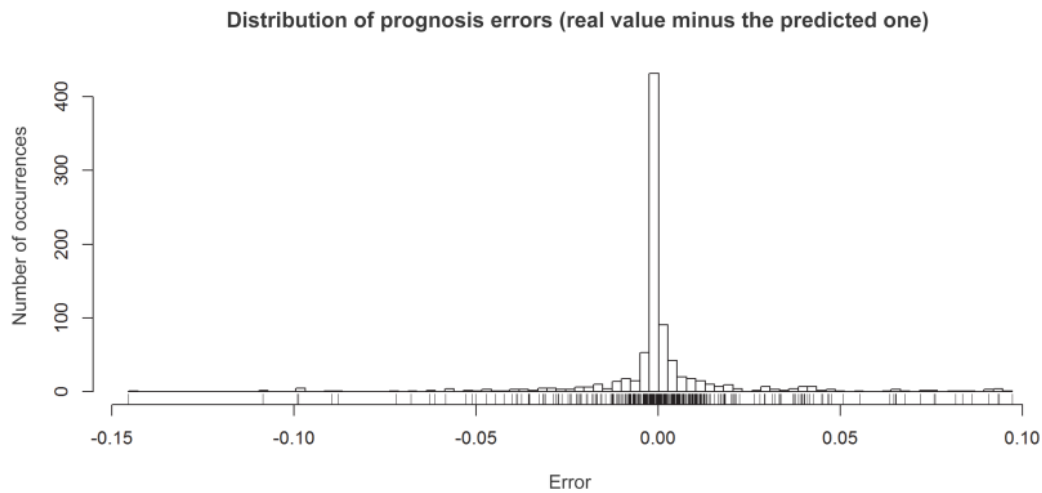


Fig. 7. Distribution of prediction errors (real value minus matched value)

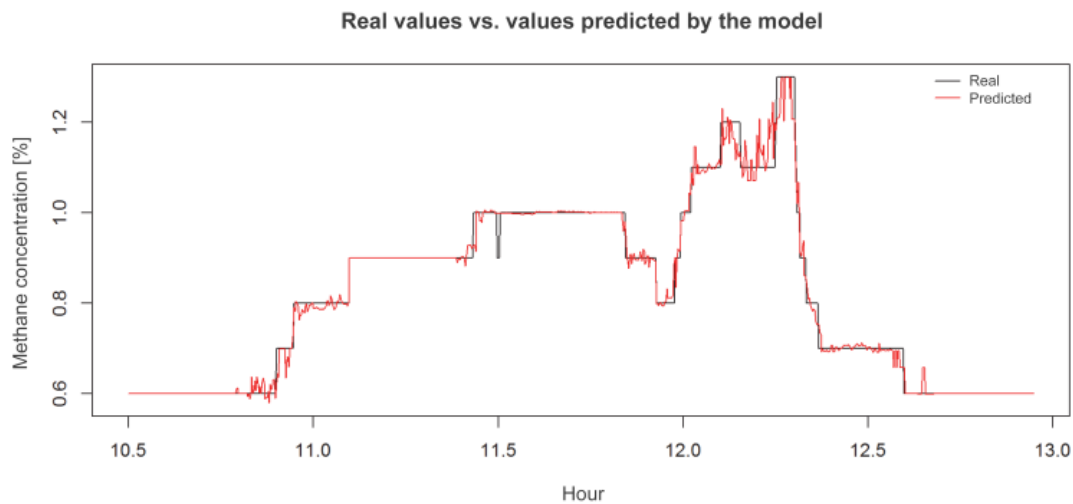


Fig. 8. Diagram of real and predicted values

Table 3.
Assessment of the prognostic model accuracy

Indicator	Value
Root Mean Squared Error (RMSE)	0.0213
Relative Root Mean Squared Error (RRMSE)	0.1103
Correlation	0.9939

Figure 7 presents a sample distribution of prediction errors on the test part of the considered data set, i.e. the part which was not used to determine the rules. It can be seen that the majority of errors are within the range of 0.05% methane concentration, which should be recognized as very promising. The result is confirmed by cumulative indicators of the prediction error, calculated over the whole test set and presented in Table 3. Figure 8 features a diagram of real values and values predicted by the model. The biggest prediction errors were observed at high methane concentration values –

about 2.0%. This shows that further research is needed to improve the prediction quality for higher methane concentrations which are the most interesting from the practical point of view.

The conducted experiment shows that methane concentration prediction can be useful information for the cutter-loader operation algorithm or for preventive (not emergency) switch-off of electrical energy.

3. METHANE EMISSION IN THE LONGWALL – CASE STUDY

During the data acquisition conducted to make the prognostic model, there were no massive methane emissions detected in the longwall. To justify the purpose of monitoring methane emission in the longwall, several measurement data sets were analyzed. The data were at the disposal of the mines, the

EMAG Institute and the companies maintaining methane measurement systems. The data were anonymous. During this inquiry a few cases were found which illustrate, to a larger or smaller extent, massive emission of methane from the goafs. One of such cases was described below.

Methane emission that can be seen in Fig. 9 was detected in the lower part of the excavation. Apart from typical sensors at the face ends, there were other methane sensors installed on power support sections and near the spill plate of the chain conveyor. Figure 9 features a situation when almost 5%-concentration methane is emitted and how it affects the readings of the methane meter placed at the face end. The MM58 methane meter was installed in the 50th section of the face support, on the level of the chain conveyor support. While the MM59 meter was installed in the longwall, at a distance smaller than 10 m from the crossing with the incline. The air velocity in the longwall was about 1,6 m/s.

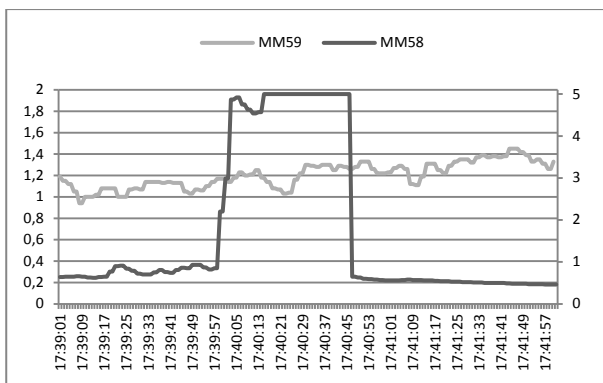


Fig. 9. Methane emission in the longwall and its impact on the readings of the methane meter located at the face end

While analyzing the readings of methane meters in the figure it is possible to see that methane concentration close to 5% remained on the MM58 meter for at least 30 s. If, at that time, there was sparking with sufficient energy to cause an ignition, an explosion would certainly happen there. This example confirms that during exploitation works there are local emissions of methane with hazardous concentrations. High methane concentrations occur in places which, normally, are not monitored – these emissions are local. If we counted only on the readings of the methane meters installed at the face end, such emissions could go unnoticed (Fig. 9, MM59 graph).

The presented case shows that it is necessary to monitor methane concentration in the longwall as a supplementary process to the standard monitoring procedure applied in today's mines.

4. LONGWALL MONITORING SYSTEM

4.1. Specification

Analyzing the events that occurred during the operations of longwall systems and the results of the conducted experiments, it can be observed that extra methane meters installed directly in the longwall, as close to the place of methane emission as possible, are the best solution to improve the safety of the area. Depending on their specifics, the meters should be installed in the cross-sectional area of the excavation, under the roof and from the side of the goafs, as it is shown in Fig. 10. Distances between sensors should be below 20 m. If 1,7-metre powered support sections are used, a methane sensor should be installed on every tenth section. Taking into account the results of the experiment described in Chapter 3, it can be observed that extra protection can be provided by predicting methane concentration at the face end and, based on these data, applying certain countermeasures, e.g. switching off the cutter-loader without switching off the chain conveyor.

If there were data available about the cutter-loader position in the longwall and the temporary energy consumption by cutting heads, these data could be used for prediction purposes. As a consequence, it would be possible to obtain the prognosis of methane concentration at the face end with respect to the cutting speed. With these data one could work out a discrete-time signal. This signal would be sent back to the cutter-loader in order to limit the power and reduce the cutting speed. This would be done if, at current parameters, we knew that methane concentration values were to be exceeded and emergency switch-off of the cutter-loader would be executed. This way it would be possible to increase working fluency of the longwall system and reduce the number of emergency switch-offs.

4.2. System structure

A methane measurement system whose sensors would be installed in the longwall should be treated as supplementary to the existing methane measurement systems. Available computer and measurement technologies allow to develop such a system along with local power supply in the longwall area. Due to the necessity to carry out prediction-related calculations, it is indispensable to use a computer with sufficient computing power. Computers in fire-proof cases, which are currently available on the market, are sure to meet these requirements. If it was necessary to use

intrinsically safe systems, there are at least two producers now who are involved in the development of intrinsically safe computers with parameters meeting the requirements. In the case of sensors installed in the longwall there are two solutions to consider. The first one is wire transmission with the use of intrinsically safe transmission lines and the RS-485 interface. Here there are two solutions available, covering both methane measuring sensors with the RS-485 interface and the devices of the RS-485 bus as such. Power supply can be provided to the sensors by means of the same cables (extra power supply conductors). The second solution could be radio transmission with the frequency of 868 MHz or 2,4 GHz. However, power supply to the sensors has to be provided by wires anyway. Battery power supply for methane sensors, even sensors which are based on infrared absorption, will make them last only several dozen hours at a one-minute measurement cycle. Certainly, it is not possible to state now whether any of the above solutions is better.

As far as a wireless system is concerned, power supply to sensors is the issue. Having the power of

127 or 230 V, it is possible to use typical power supply devices with buffers, which will make the devices work when the power is off due to damages or exceeded methane concentrations. The sensors installed in the longwall are connected with each other and send data to the Local Measurement and Control Station by means of the MESH technology (Fig. 12). Here the data from the sensors undergo preliminary processing and then are sent through wires to the District Monitoring Station. This station is responsible for data processing and calculations and for generating the prognosis. The calculation results are sent back to the Local Measurement and Control Station (Fig. 10) and it is not until they get there that a switch off or control signal is generated from this station. The data processed in the District Monitoring Station can be transmitted to the surface to the methane measurement system. In order to provide more secure prognoses, the District Station collects data from the surface part of the methane measurement system. These data are used to verify the generated prognoses.

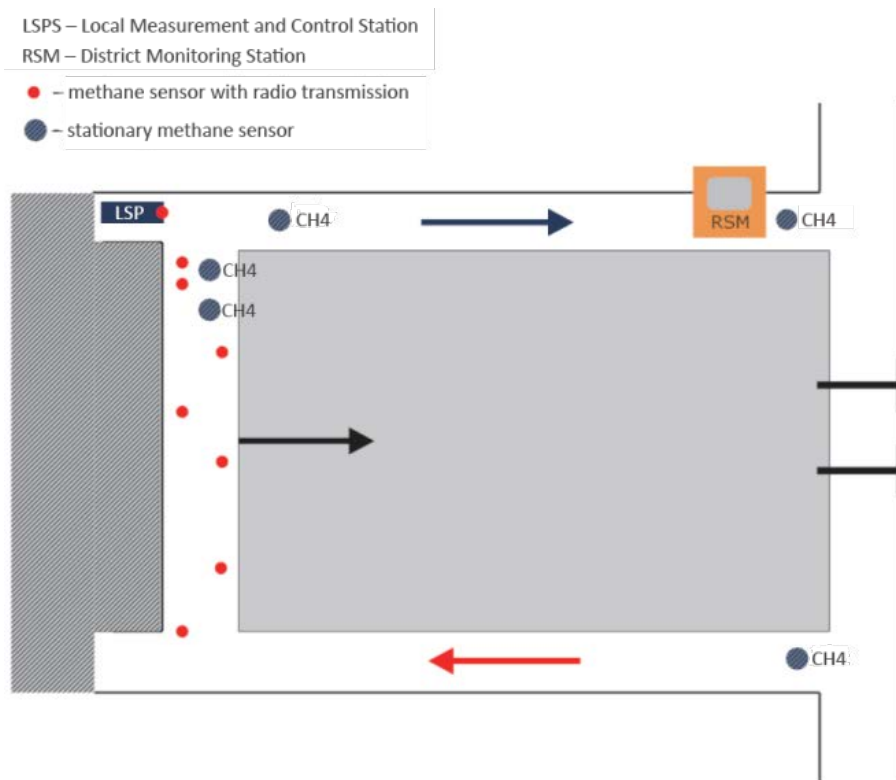


Fig. 10. Sample distribution of sensors in the longwall

An important issue is access to information about the cutter-loader location and the electrical current consumed by cutting devices. This information can be collected from the cutter-loader control systems – the majority of systems on the market offer such a possibility. If the information cannot be collected,

it will not be possible to generate a full prognosis that takes into consideration the cutter-loader operations. The prognosis generated in this case will only allow emergency switch-off of electrical energy (just to stop the cutter-loader), however, the mined rock on the chain conveyor will be transported away.

Control signals worked out in the District Monitoring Station should be sent to the cutter-loader controller through the Local Measurement and Control Station. Depending on the adopted solution, these signals can be used as hints for the operator to reduce the cutting speed. They can also reduce this speed automatically informing the operator about the applied blockade.

5. APPLICATION OF PREDICTION RESULTS IN THE CONTROL OF CUTTER-LOADER OPERATIONS

The software installed in the District Monitoring Station collects data from sensors placed in the longwall

and connected to the stationary methane measurement system. The system starts working when the data start to be collected. The data stored in the database are used for prediction. First, a model is developed. The prognosis cannot be made until a model of satisfactory quality is developed. If the model meets minimal requirements concerning the prediction quality (the requirements can be quantitatively defined and calculated for the moving time window of a set width, e.g. 1 h), the system proceeds to the prognosis mode (Fig. 11). If the quality of the prognoses drops below the acceptable minimum (Fig. 11), the system tries to make a new model automatically, based on the latest measurement data. Until satisfactory prediction results are achieved, the system works only in the monitoring mode.

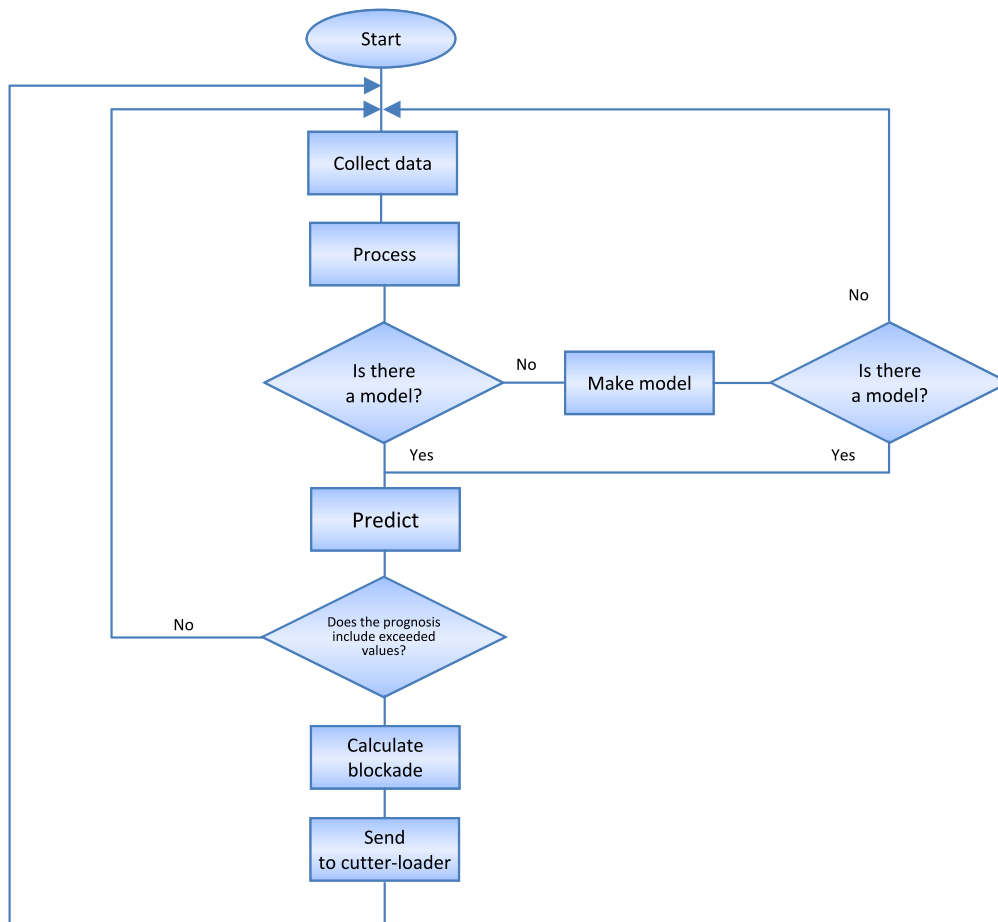


Fig. 11. Block diagram of the algorithm for prediction and cutter-loader control

Figure 11 features a block diagram of the cutter-loader control algorithm. If the prognosis says about exceeded values of methane concentration or about approaching this level, the value of the so called blockade is calculated. Depending on the prognosis value, the blockade is to slow down the cutting process. The

blockade is a discrete-time value, from 1 to 10. The value equal to 1 stands for the smallest slowing down of the cutter-loader, while 10 stands for stopping of the machine. The value of the blockade is sent to the cutter-loader controller where it is entered as an automatic blockade of cutting speed or as a hint for the operator.

6. CONCLUSIONS

With respect to the acquired experience, conducted experiments and the state-of-the-art of available technologies, it can be observed that the solutions and methods that have been applied so far cannot improve significantly the level of security related to methane hazards in the longwalls.

The improvement can be achieved by monitoring methane emission as close to the emission source as possible, i.e. directly in the longwall. This will allow to observe, without unnecessary delay, methane emissions that can increase the hazard level.

The installation of extra sensors and the methods of analyzing measurement data allow to improve the quality of applied security measures. This way we achieve early information whether the boundary values of methane concentration are exceeded. In addition, this information can be used to decide about the intensity of the coal cutting process.

Therefore we are able to state the following:

- methane concentration measurements in many places of the longwall, along with measurements of other ventilation parameters, allow to predict methane concentration at the face end in the time horizon of a few minutes,
- the obtained prognosis can be used for reasoning in methane measurement systems and for controlling the operations of the cutter-loader (reducing the speed of the haulage or, possibly, stopping the cutter-loader) to influence methane concentration at the face end,
- methane measurement in the longwall, as close to the emission source as possible, allows to cut off electric energy in the longwall; this operation protects the area against methane ignition provoked by an electric spark or a spark generated by the working machine parts.

Acknowledgement

This research was partly supported by Polish National Centre for Research and Development (NCBiR) grant PBS2/B9/20/2013 in frame of Applied Research Programmes.

References

1. Breiman L., Friedman J.H., Olshen R.A., Stone C.J.: *Classification and Regression Trees*, Wadsworth, Belmont CA 1994.
2. Cierpisz, S., Miśkiewicz, K., Wojaczek, A., Musioł, K.: *Systemy gazometryczne w górnictwie (Gas measurement systems in mining)*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
3. Dixon W.D.: *A statistical analysis of monitored data for methane prediction*, Ph. D. Thesis, University of Nottingham, Dept. of Mining Engineering, May 1992.
4. Dziurzyński W., Wasilewski S.: *Ocena zagrożenia metanowego w rejonie ściany na podstawie czujników gazometrii oraz symulacji komputerowej przepływu mieszaniny powietrza i metanu (Assessment of methane hazard in the longwall area based on gas-measuring sensors and computer simulation of air-methane mixture flow)*, Przegląd Górniczy 12, 2012 pp. 28.
5. Hartman H.L., Mutmansky J.M., Ramani R.V., Wang Y.J.: *Mine ventilation and air conditioning*, New York, Wiley 1997.
6. Klakus J., Krzystolik P.: *Rozwój aparatury metanometrycznej na tle zmian przepisów (Development of methane measuring apparatus in the light of changed regulations)*, Mechanizacja i Automatykacja Górnicza 2, 1985 pp. 27-31.
7. Kozielski M., Skowron A., Wróbel Ł., Sikora M.: *Regression rule learning for methane forecasting in coal mines. International Conference – Beyond Databases Architectures and Structures*, Communications in Computer and Information Science 521, Springer 2015 pp. 495-504.
8. Krause E., Łukowicz K.: *Zasady prowadzenia ścian w warunkach zagrożenia metanowego. Instrukcja Nr 17. Główny Instytut Górnictwa (Regulations of longwalls management in the conditions of methane hazard, Instruction No 17, Central Mining Institute)*. Katowice-Mikołów 2004.
9. Krzysztanek Z., Dylong A., Wojtas P.: *Monitorowanie parametrów środowiska w kopalniach węgla kamiennego – System SMP-NT (Monitoring of Environmental Parameters in Coal Mine – The SMP-NT System)*, Mechanizacja i Automatykacja Górnicza 9, 2004 pp. 23-45.
10. Noack K.: *Control of Gas Emission in Underground Coal Mines*, International Journal of Coal Geology 35, 1998 pp. 57-82.
11. Trenczek S.: *Charakterystyka zagrożeń naturalnych. Monitorowanie, telemetria i narzędzia informatyczne w górnictwie dla poprawy bezpieczeństwa pracy – wybrane zagadnienia (Characteristics of natural hazards. In: Monitoring, telemetry and IT tools in mining to improve work safety – selected issues)*, S. Trenczek (Ed.) Wydawnictwo ITI EMAG, Katowice, 2014 pp. 7-29.
12. Wasilewski S.: *Porównanie systemów monitorowania zagrożeń gazowych i kontroli wentylacji o działaniu ciągłym (Comparison of gas hazards monitoring systems and ventilation monitoring systems)*, Mechanizacja i Automatykacja Górnicza 344(4/5), 1999 pp. 123-127.
13. Wasilewski S.: *Gazometria automatyczna (Automatic gasometry). Innowacje dla gospodarki (Innovations for the economy)*, S. Trenczek (Ed.), Wydawnictwo ITI EMAG, Katowice 2010 pp. 141-161.

ARTUR DYLONG, M. Sc
Centre of Technology Transfer EMAG Ltd.
a.dylong@cttemag.pl

Monitorowanie i prognozowanie wydzielania metanu w ścianie a możliwości sterowania kompleksem ścianowym

Stosowane w górnictwie systemy monitorowania opierają się na rozwiązaniach mających swe korzenie w latach 90. XX wieku. Wiedza na temat wydzielania metanu z górotworu i zrobów w procesie urabiania węgla metodą ścianową jest dobrze usystematyzowana. Standardowo pomiar metanu wykonuje się na wlocie i wylocie rejonu ściany. Jednak wypadki, które zdarzyły się w ostatnich latach, sugerują, że w pewnych warunkach takie rozwiązanie nie jest wystarczające. Wprowadzając dodatkowe punkty pomiarowe wewnątrz ściany, uzyskuje się nowe możliwości monitorowania stężenia metanu w postaci szybszego reagowania na zagrożenia metanowe wewnątrz ściany. Uzyskuje się także możliwość krótkoterminowego prognozowania stężenia metanu o stosunkowo dużej dokładności. W artykule opisano propozycję systemu umożliwiającego pomiary stężenia metanu w ścianie wydobywczej, prognozowanie stężenia metanu oraz wykorzystanie wiedzy o jego stężeniach do sterowania pracą kombajnu. Zaprezentowano również wyniki kilku badań eksperymentalnych ilustrujących efektywność proponowanego systemu.

Słowa kluczowe: systemy monitorowania stężenia metanu, prognozowanie stężenia metanu, sterowanie kompleksem ścianowym.

1. WSTĘP

Monitorowanie zagrożeń metanowych w ścianie wydobywczej jest realizowane przez stacjonarne systemy metanometryczne, których czujniki są zabudowywane na wlocie do ściany i wylocie z niej. Ten sposób monitorowania od wielu lat jest wykorzystywany w górnictwie [2, 4, 5, 6, 9, 10, 12]. Tylko w niektórych przypadkach stosowane jest monitorowanie wewnątrz ścian wydobywczych. Analizując wypadki, które wydarzyły się w ostatnich latach, można stwierdzić, że występowanie atmosfery wybuchowej w ścianie zdarza się pomimo stosowania przewietrzania. W niektórych przypadkach używane zabezpieczenia metanometryczne okazały się niewystarczające, gdyż nastąpiło zapalenie lub wybuch metanu. Stosowane systemy zabezpieczające skupiają się na rozpoznaniu zagrożenia poprzez stwierdzenie obecności w powietrzu mieszaniny gazowej o stężeniu przekraczającym 2% CH₄ i przeciwdziałaniu zagrożeniu poprzez wyłączenie energii elektrycznej

jako głównego źródła potencjalnego inicjału [11, 12, 13]. Metody te niestety nie zabezpieczają w wystarczający sposób przed zagrożeniem wybuchem metanu. Przyczyną tego jest między innymi niewystarczająca liczba czujników oraz sposób i miejsce ich rozmieszczenia. Większość ścian użytkowanych w Polsce ma długość około 250 m. Przy zabudowie metanomierza na wlocie do ściany i wylocie z niej oraz średniej prędkości powietrza 1,6 m/s mamy do czynienia z opóźnieniem sięgającym 2,5 minuty w propagacji gazu wzdłuż ściany. Jeżeli w początkowej części ściany wystąpi wydzielanie metanu, to dopiero po około dwóch minutach dowiemy się o jego stężeniu. Jeżeli będzie to wypływ o dużej objętości, to może nie zostać rozrzedzony, a wtedy pomimo realnego zagrożenia urządzenia pracujące w ścianie nie zostaną wyłączone. Jest więc celowym rozważeniem zabudowy dodatkowych urządzeń pomiarowych w ścianie, tak aby pomiar stężenia metanu mógł być realizowany jak najbliżej źródła wydzielania. Mając większą liczbę danych, można pokusić się o prognozowanie stężenia metanu z pewnym wyprzedzeniem

czasowym na wylocie ze ściany i zwrótnie wypracowywać sygnał sterujący dla kombajnu.

Możliwość krótkoterminowego prognozowania sprawdzono przeprowadzając eksperyment polegający na zabudowaniu czujników metanu w wyrobisku ścianowym i wywołaniu zaburzenia wentylacji w ścianie. Następnie uzyskane wyniki posłużą do wykonania obliczeń i symulacji. W artykule pokazano również koncepcję systemu do pomiaru metanu w wyrobisku ścianowym.

2. KRÓTKOTERMINOWA PROGNOZA STĘŻENIA METANU

Dla potrzeb realizacji badań eksperymentalnych związanych z monitorowaniem metanu w ścianie oraz krótkoterminowej prognozy stężenia metanu przygotowano środowisko testowe w jednej z polskich kopalń węgla kamiennego.

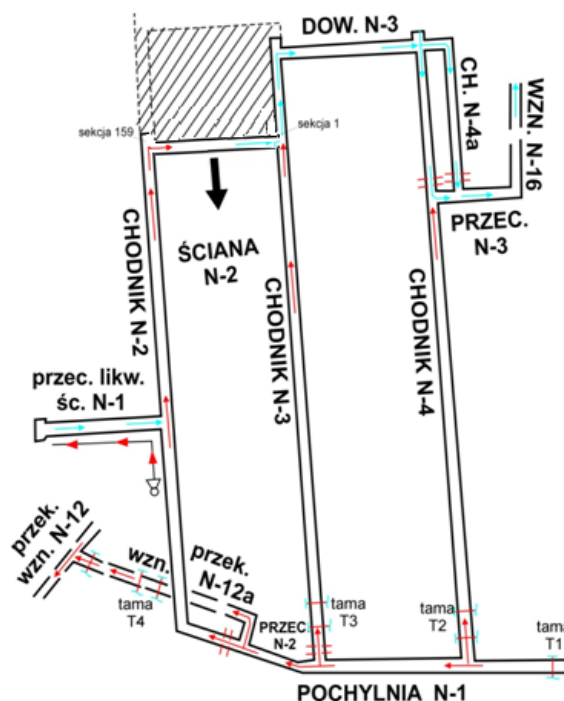
Z uwagi na przepisy obowiązujące w zakresie stosowania urządzeń i maszyn w warunkach występującego zagrożenia wybuchem metanu [8] niemożliwe było bezpośrednie rozszerzenie funkcjonalności stosowanego w wybranej kopalni systemu metanometrii automatycznej o dodatkowe metanomierze. Dlatego eksperyment przeprowadzono w stosunkowo krótkim okresie czasu. Rejon ściany charakteryzował się następującymi cechami:

- eksploatowany pokład zaliczony był do IV kategorii zagrożenia metanowego,

- wyrobiska w rejonie ściany zliczone były do pomieszczeń ze stopniem „c” niebezpieczeństwa wybuchu metanu,
- metanowość bezwzględna ściany wynosiła nie mniej niż $15 \text{ m}^3/\text{min}$,
- eksperymentalna zmiana warunków przewietrzania powodowała zmiany przepływu (migracji) gazów zrobowych w kierunku wyrobiska ścianowego,
- zmiana warunków przewietrzania nie mogła wpływać na pogorszenie bezpieczeństwa w rejonie ściany,
- zmiany stężeń metanu w wyrobisku ścianowym kontrolowane były przez funkcjonujący w kopalni system metanometrii automatycznej oraz dodatkowe metanomierze indywidualne zamontowane na czas eksperymentu,
- dodatkowe metanomierze indywidualne rozmieszczono w strefie przyzrobowej oraz w strefie urabiania.

Badania obejmowały zatem ścianę wraz ze strefą przyzawałową. Zaplanowane regulacje w podsieci poszczególnych rejonów miały doprowadzić do przepływu metanu ze zrobów do ściany. Z kolei wyłączenie z ruchu ściany w czasie badań eksperymentalnych przesądzało o tym, że zmian stężeń metanu w strefie urabiania z tytułu urabiania i transportu urobku nie odnotowano. Nie wykluczało to jednak ewentualnych zmian stężeń metanu spowodowanych migracją gazów ze zrobów do tej strefy.

Na rysunku 1 zaprezentowano schemat ściany, na której przeprowadzono eksperyment.

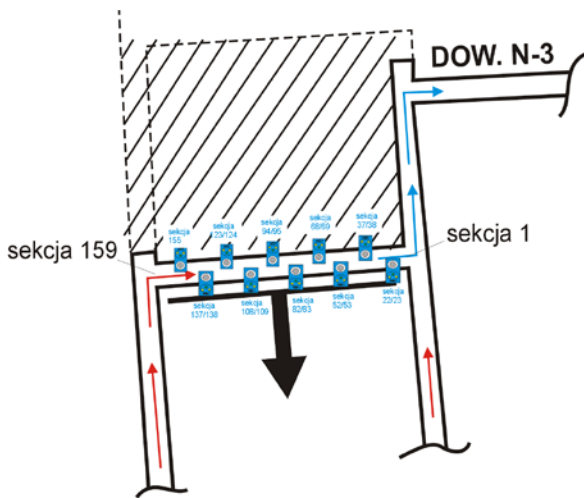


Rys. 1. Schemat ściany N-2

Tabela 1.

Zestawienie czujników zabudowanych w rejonie ściany N-2 w pokładzie 404/2

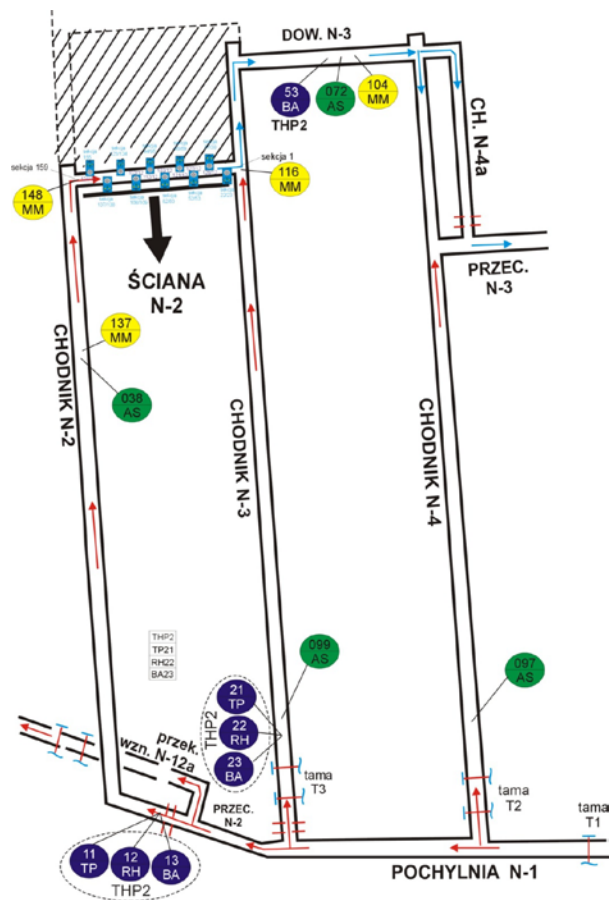
Lp.	Numer	Lokalizacja	Strefa wyrobiska
1	MM148	Ściana N-2 – 10 m od chodnika N-2	centralna
2	AS038	Chodnik N-2 – 150 m przed ścianą N-2	centralna
3	PMM103	Ściana N-2, sekcje 82-83	centralna
4	PMM113	Ściana N-2, sekcje 137-138	urabiania
5	PMM120	Ściana N-2, sekcje 22-23	urabiania
6	PMM123	Ściana N-2, sekcje 108-109	urabiania
7	PMM127	Ściana N-2, sekcje 52-53	urabiania
8	PMM112	Ściana N-2, sekcje 94-95	urabiania
9	PMM117	Ściana N-2, sekcje 123-124	przyzawałowa
10	PMM121	Ściana N-2, sekcje 68-69	przyzawałowa
11	PMM124	Ściana N-2, sekcja 155	przyzawałowa
12	PMM128	Ściana N-2, sekcje 37-38	przyzawałowa
13	MM116	Ściana N-2 – do 2 m od skrzyżowania z dowierzchnią N-3	przyzawałowa
14	AS072	Dowierzchnia N-3	centralna



Rys. 2. Ściana N-2 z zabudowanymi dodatkowymi metanomierzami przenośnymi

W rejonie ściany N-2, oprócz indywidualnych metanomierzy typu PMM-1 zainstalowanych przed badaniami eksperymentalnymi i w ich trakcie, poziom stężeń metanu kontrolowany był jednocześnie metanomierzami stacjonarnymi typu MM-2, MM-2PW stanowiącymi elementy metanometrii automatycznej oraz innymi przyrządami, działającymi w ramach systemu monitorowania typu SMP-NT/A.

Zestawienie i lokalizację wybranych metanomierzy indywidualnych i stacjonarnych przedstawiono odpowiednio w tabeli 1 oraz na rysunkach 2 i 3.



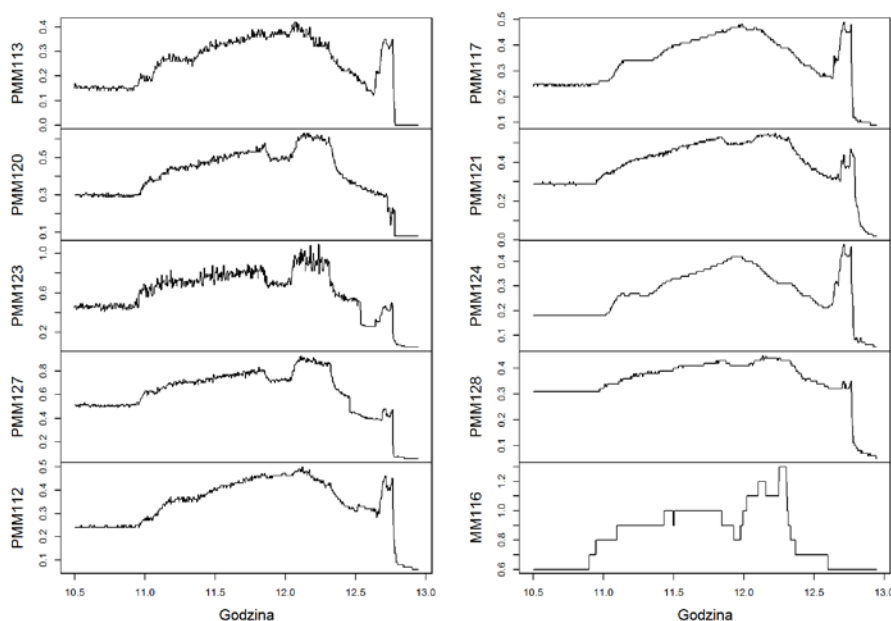
Rys. 3. Rozmieszczenie czujników stacjonarnych w czasie badań eksperymentalnych w rejonie ściany N-2

W przypadku ściany N-2, na której przeprowadzono eksperyment, regulacja podsięci polegała na zamknięciu i doszczelnieniu tamy wentylacyjnej pochylni N-1 przy wlocie świeżego powietrza. Szczegółowy plan badań zakładał:

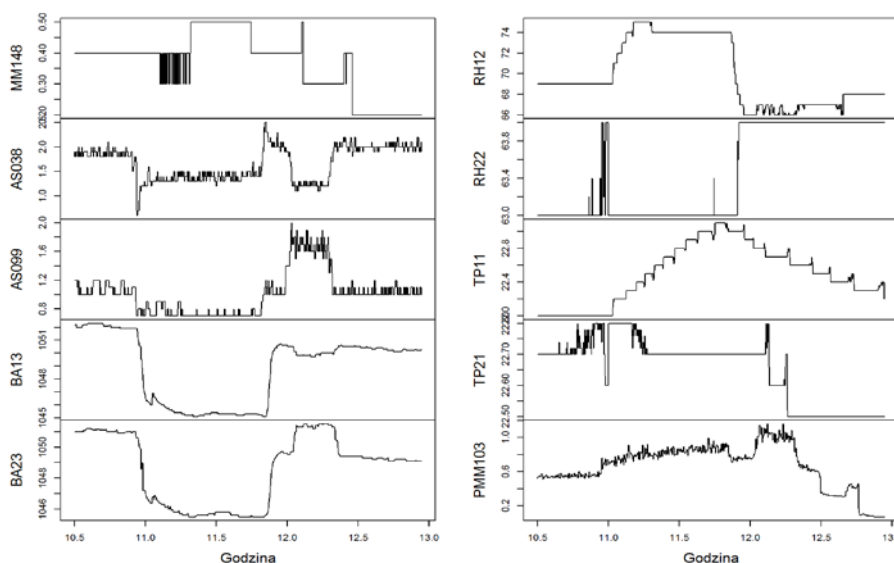
- montaż 10 czujników PMM-1 w ścianie N-2,
- zamknięcie tamy T1 na wejściu do pochylni N-1,
- otwarcie tamy w pochylni N-1,
- całkowite otwarcie tamy T3 w chodniku N-3,
- zamknięcie tamy T3 w chodniku N-3,

- zakończenie pomiarów, przy czym awaryjne zatrzymanie badań eksperymentalnych i zamknięcie tamy T3 w chodniku N-3 miało nastąpić po stwierdzeniu wzrostu stężeń metanu w ścianie do wartości 2,0%,
- powrót do stanu pierwotnego przewietrzania.

Po zrealizowaniu eksperymentu czujniki przenośne zostały zdemontowane, a dane zgromadzone w ich pamięci zapisano w plikach tekstowych celem dalszej analizy. Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono przebiegi stężeń metanu zarejestrowane przez wybrane czujniki.



Rys. 4. Przebieg zmian stężeń metanu zarejestrowany przez metanomierze indywidualne zainstalowane w rejonie ściany N-2



Rys. 5. Przebieg zmian stężeń metanu oraz parametrów wentylacyjnych zarejestrowany przez przyrządy pomiarowe stacjonarne zainstalowane w rejonie ściany N-2

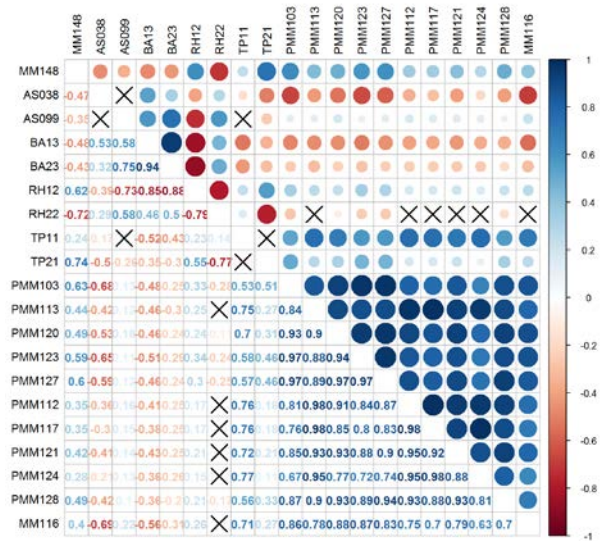
2.1. Prognoza

W pierwszym etapie analizy przystąpiono do sporządzenia macierzy korelacji zmiennych. Dzięki temu uzyskano odpowiedź na pytanie o to, które ze zmiennych mają największy wpływ na zmienną prognozowaną.

Zmienną prognozowaną były wskazania czujnika MM116, a horyzont prognozy wynosił 3 minuty. Przedmiotem prognozy nie była dokładna wartość stężenia metanu, a wartość maksymalna, jaka w okresie 3 minuty + 30 sekund zostanie zarejestrowana przez czujnik MM116.

Należy podkreślić, że podczas tworzenia modelu prognostycznego nie wykorzystano wcześniejszych wartości zmiennej zależnej, a więc tych wartości, które są znane podczas generowania prognozy.

Następnie opracowano ranking zmiennych objaśniających (tych, których użyto do prognozowania) według wartości bezwzględnej współczynnika korelacji (rys. 6) ze zmienną prognozowaną (im większa wartość, tym większy wpływ zmiennej na wartość prognozowaną). Ranking ten przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 6. Macierz korelacji czujników ściany N-2 (korelacje nieistotne statystycznie zaznaczono znakiem X)

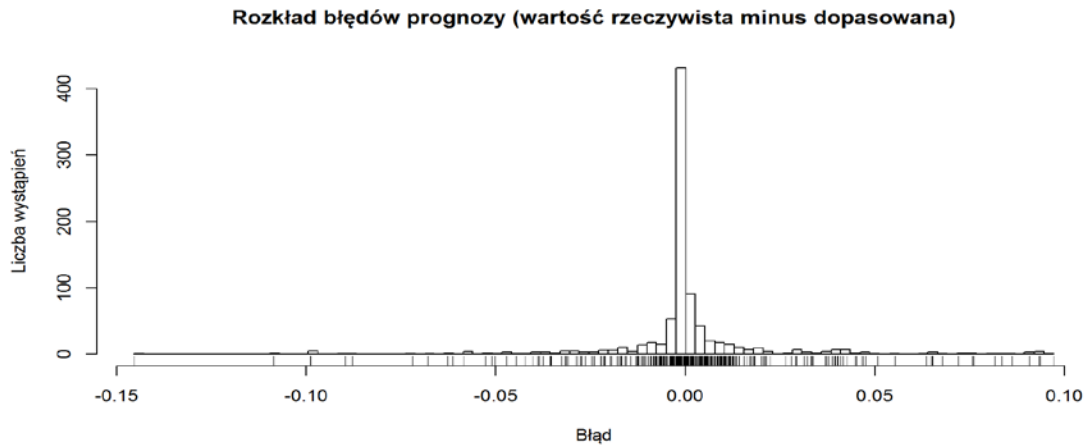
Tabela 2.

Ranking zmiennych objaśniających skorelowanych względem metanomierza MM116

Czujnik	Korelacja	Siła korelacji
PMM120 (ściana)	0,8769	bardzo silna
PMM123 (ściana)	0,8660	bardzo silna
PMM103 (ściana)	0,8576	bardzo silna
PMM127 (ściana)	0,8328	bardzo silna
PMM121 (zroby)	0,7860	silna
PMM113 (ściana)	0,7839	silna
PMM112 (zroby)	0,7543	silna
TP11	0,7055	silna
PMM117 (zroby)	0,7024	silna
PMM128 (zroby)	0,6982	silna
AS038	-0,6942	silna
PMM124 (zroby)	0,6334	silna
BA13	-0,5555	częściowa
MM148	0,3988	brak
BA23	-0,3056	brak
TP21	0,2665	brak
RH12	0,2619	brak
AS099	0,2197	brak
RH22	-0,0234	brak

Jako metodę tworzenia modelu prognostycznego wybrano metodę indukcji reguł regresyjnych [7], która jest metodą analizy zbliżoną do regresji liniowej. Metoda, podobnie jak indukcja drzew regresyjnych [1], pozwala na utworzenie różnych modeli

liniowych w zależności od wartości zmiennych objaśniających. Warto wspomnieć, że do prognozowania metanu wykorzystywano również metody analizy szeregów czasowych [3], jednak okazały się one mniej efektywne niż reguły regresyjne.



Rys. 7. Rozkładu błędów prognozy (wartość rzeczywista minus dopasowana)



Rys. 8. Wykres wartości rzeczywistych i prognozowanych

Tabela 3.
Ocena dokładności modelu prognostycznego

Wskaźnik	Wartość
Pierwiastek z błędu średniokwadratowego (RMSE)	0,0213
Pierwiastek ze względnego błędu średniokwadratowego (RRMSE)	0,1103
Korelacja	0,9939

Na rysunku 7 przedstawiono rozkład błędów prognozy na testowej – tej, która nie została użyta do wyznaczenia reguł – części rozważanego zbioru danych. Widać, że zdecydowana większość błędów mieści się w zakresie 0,05% stężenia metanu – wynik taki należy uznać za bardzo obiecujący. Potwierdzają to zbiorcze wskaźniki błędu prognozy obliczane na całym zbiorze testowym, jakie zawarto w tabeli 3. Na rysunku 8 przedstawiono wykres wartości rzeczywistych i prognozowanych przez model. Największe błędy prognozy odnotowano przy wysokich – w granicach 2,0% – stężeniach metanu. Świadczy to o tym,

że potrzebne są dalsze badania mające na celu polepszenie jakości prognozy dla wyższych, a więc tych najbardziej interesujących z praktycznego punktu widzenia, stężeń metanu.

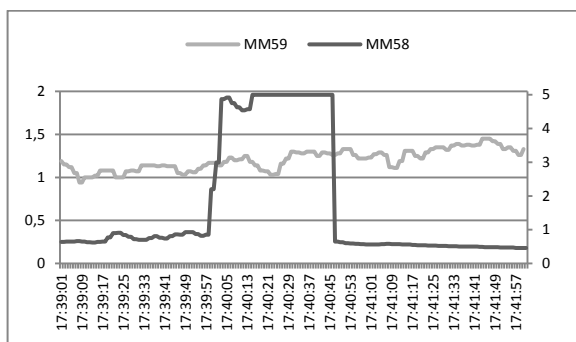
Przeprowadzony eksperyment pokazuje, że prognozy stężenia metanu mogą być użyteczną informacją dla algorytmu sterowania działaniem kombajnu lub do wyprzedzającego (prewencyjnego, ale nie awaryjnego) wyłączenia energii elektrycznej.

3. WYPIŁYW METANU W ŚCIANIE WYDOBYWCZEJ – ANALIZA PRZYPADKU

Podczas akwizycji danych dla celów opracowania modelu prognostycznego nie odnotowano masywnych wypływów metanu w ścianie. Aby uzasadnić celowość monitorowania metanu w ścianie wydobywczej, przeanalizowano kilkanaście dostępnych zbiorów danych pomiarowych będących w dyspozy-

cji kopalń, Instytutu EMAG oraz firm serwisujących systemy metanometryczne. Dane były anonimowe. Podczas tej kwerendy natrafiono na kilka przypadków ilustrujących – w mniejszym lub większym stopniu – masywny wypływ metanu ze zrobów. Poniżej opisano jeden taki przypadek.

Wypływ metanu widoczny na rysunku 9 stwierdzono w dolnej części wyrobiska. W ścianie oprócz typowych czujników na wlocie i wylocie zamontowane były również czujniki metanometryczne na sekcjach obudowy zmechanizowanej oraz przy tzw. zastawce przenośnika zgrzeblowego. Na rysunku 9 zaprezentowano sytuację wystąpienia wypływu metanu o stężeniu bliskim 5% oraz jego wpływ na wskazania metanomierza na wylocie ze ściany. Metanomierz MM58 zabudowany był na 50-tej sekcji obudowy ścianowej na wysokości obudowy przenośnika zgrzeblowego, natomiast metanomierz MM59 – w ścianie w odległości mniejszej niż 10 m od skrzyżowania z upadową. Prędkość powietrza w ścianie wynosiła ok. 1,6 m/s.



Rys. 9. Wypływ metanu w ścianie oraz jego wpływ na wskazania metanomierza na wylocie ze ściany

Analizując przebiegi wskazań metanomierzy umieszczonych na rysunku, można zauważyć, że stężenie metanu bliskie 5% utrzymywało się na metanomierzu MM58 co najmniej 30 s. Jeżeli w tym czasie nastąpiłoby iskrzenie o energii wystarczającej do spowodowania zapłonu, mielibyśmy do czynienia z wybuchem. Przyniesiony przykład potwierdza, że podczas prowadzenia prac eksploatacyjnych dochodzi do lokalnych wypływów metanu o stężeniu niebezpiecznym. Wysokie stężenia metanu występują w miejscach, które nie są standardowo monitorowane – wypływy te mają charakter lokalny. Jeśli bazowałyby się jedynie na wskazaniach metanomierzy zabudowanych na wylocie ze ściany, wypływy takie mogłyby pozostać niezauważalne (rys. 9, wykres MM59).

Przedstawiony przypadek pokazuje, że celowe jest prowadzenie monitorowania stężenia metanu w ścianie wydobywczej jako uzupełnienie standardowej procedury monitorowania stosowanej obecnie.

4. SYSTEM MONITOROWANIA ŚCIANOWEGO

4.1. Koncepcja

Analizując przypadki zdarzeń w trakcie pracy kompleksów ścianowych oraz wyniki eksperymentów, można stwierdzić, że rozwiązaniem, które zdecydowanie poprawiłoby bezpieczeństwo, jest zabudowa dodatkowych metanomierzy bezpośrednio w ścianie, czyli jak najbliżej miejsca wydzielania się metanu. W zależności od specyfiki metanomierze powinny być zabudowane w świetle wyrobiska pod stropem oraz od strony odzrobowej, np. tak, jak pokazano na rysunku 10. Odległości pomiędzy czujnikami nie powinny być większe niż 20 m. Przy stosowaniu sekcji obudów zmechanizowanych o szerokości 1,7 m czujnik metanu powinien być zabudowany na każdej co dziesiątej sekcji. Biorąc pod uwagę wyniki eksperymentu omówionego w rozdziale 3, należy stwierdzić, że dodatkowym zabezpieczeniem może być prognozowanie stężenia metanu na wylocie ze ściany i uruchamianie – na podstawie tych danych – procedur zaradczych, np. wyłączanie kombajnu bez wyłączania przenośnika zgrzeblowego.

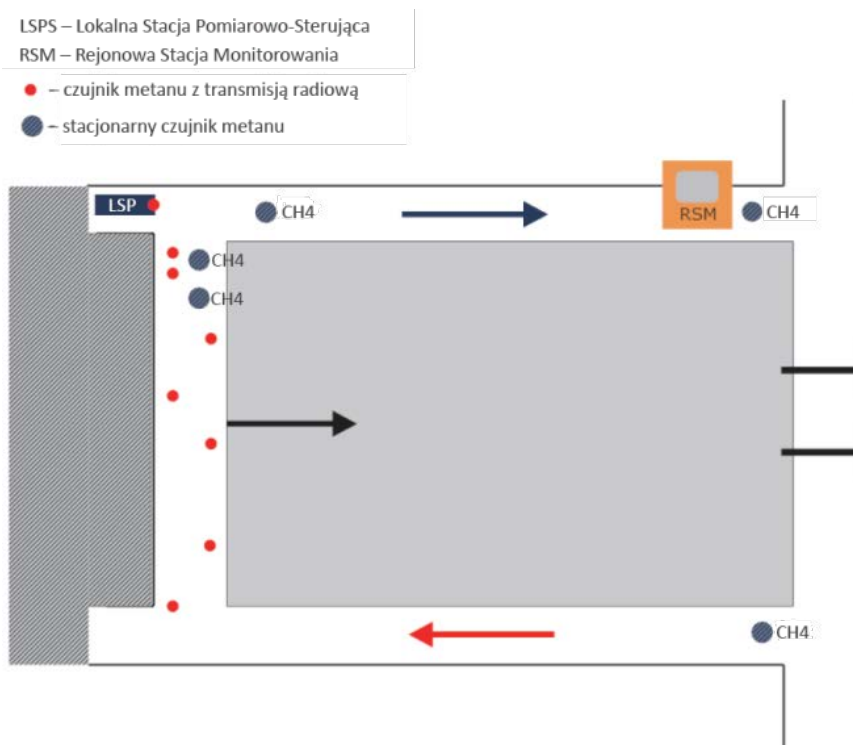
W przypadku, gdyby dostępne były dane na temat umiejscowienia kombajnu w ścianie oraz bieżącego chwilowego poboru prądu przez organy urabiające, można by wykorzystać te dane do prognozy. W efekcie dałoby się uzyskać prognozę stężenia metanu na wylocie ze ściany uwzględniającą prędkości urabiania. Mając te dane, można by wypracować sygnał dyskretny, który zostałby zwrotnie przesłany do kombajnu w celu ograniczenia mocy i zmniejszenia prędkości urabiania w przypadku stwierdzenia, że przy obecnych parametrach nastąpi przekroczenie granicznych wartości stężenia metanu i awaryjne wyłączenie kombajnu. Dzięki temu możliwe byłoby zwiększenie płynności pracy kompleksu ścianowego i minimalizacja jego awaryjnych włączeń.

4.2. Budowa systemu

System metanometryczny, którego czujniki byłyby zabudowane w ścianie, powinien być traktowany jako uzupełnienie istniejących systemów metanometrycznych. Dostępna technika komputerowa i pomiarowa pozwala na zbudowanie takiego systemu wraz z lokalnym zasilaniem w rejonie ściany. Ze względu na potrzebę prowadzenia obliczeń związanych z prognozowaniem niezbędne jest zastosowanie komputera wyposażonego co najmniej w procesor z czterema wątkami przetwarzającymi oraz o pamięci przynajmniej 8 GB. Oferowane obecnie na rynku komputery

w obudowach ognioszczelnych z powodzeniem spełniają te wymagania. Niestety w chwili obecnej nie ma dostępnych na rynku komputerów w wykonaniu iskrobezpiecznym. W przypadku czujników zabudowywanych w ścianie można rozważyć dwa rozwiązania. Pierwszym z nich jest transmisja przewodowa z wykorzystaniem iskrobezpiecznych linii transmisyjnych i interfejsu RS-485. W tym przypadku na rynku są dostępne rozwiązania i czujników metanometrycznych z interfejsem RS-485, i urządzenia samej magistrali RS-485. Zasilanie czujników może być prowadzone tymi samymi kablami (dodatkowe żyły zasilające). Drugim rozwiązaniem może być transmisja radiowa na częstotliwości 868 MHz lub 2,4 GHz. Jednak i tak zasilanie czujników należy prowadzić przewodowo. Zasilanie bateryjne w przypadku czujników metanu, nawet gdybyśmy rozpatrywali czujniki pracujące na zasadzie pochłaniania podczerwieni, wystarcza na zasilanie takiego metanomierza na zaledwie kilkadziesiąt godzin przy cyklu pomiaru wynoszącym 1 minutę. Oczywiście nie można obecnie jednoznacznie stwierdzić wyższości któregośkolwiek z rozwiązań.

Rozpatrując w dalszej części system bezprzewodowy, należy zwrócić uwagę na zasilanie czujników. Mając do dyspozycji zasilanie 127 lub 230 V, można zastosować typowe zasilacze sieciowe z buforem, które pozwolą na pracę urządzeń w momencie zaniku zasilania spowodowanego awarią czy też przekroczeniem stężenia metanu. Czujniki zabudowane w ścianie utrzymują połączenie pomiędzy sobą i, wykorzystując technologię MESH, przekazują dane do Lokalnej Stacji Pomiarowo-Sterującej (rys. 10). W stacji tej dane z czujników są wstępnie obrabiane, a następnie przesyłane przewodowo do Rejonowej Stacji Monitorowania. Rejonowa Stacja Monitorowania jest odpowiedzialna za przetwarzanie danych, obliczenia i generowanie prognozy. Wyniki obliczeń trafiają z powrotem do Lokalnej Stacji Pomiarowo-Sterującej i dopiero z tej stacji jest generowany sygnał wyłączenia lub sterowania. Dane przetwarzane w RSM mogą być transmitowane na powierzchnię do systemu metanometrycznego. W celu zapewnienia pewniejszych prognoz RSM pobiera dane z powierzchniowej części systemu metanometrycznego. Dane te są wykorzystywane do weryfikacji generowanych prognoz.



Rys. 10. Przykładowy sposób zabudowy czujników w ścianie

Ważnym zagadnieniem jest kwestia dostępu do informacji o umiejscowieniu kombajnu i prądzie pobieranym przez organy urabiające. Informacje te można pobrać z systemów sterowania kombajnu – większość obecnych na rynku systemów oferuje taką możliwość. W przypadku braku możliwości pobrania tych informa-

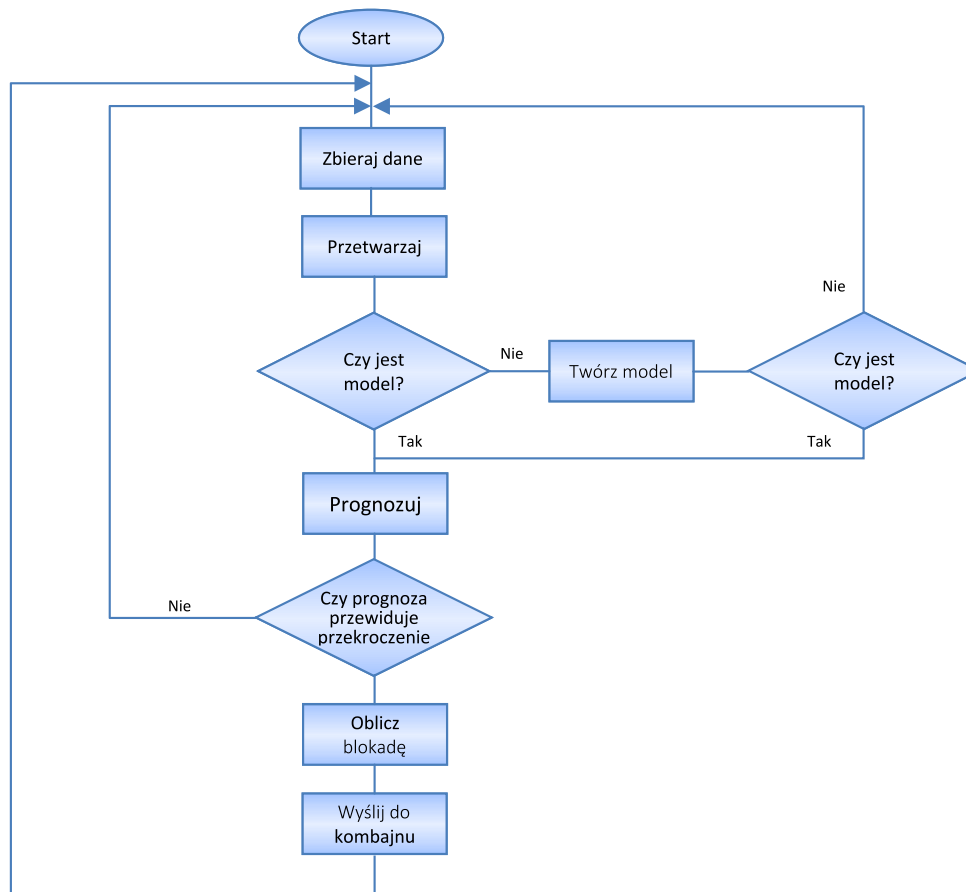
cji nie będzie możliwości generowania pełnej prognozy uwzględniającej pracę kombajnu. Prognoza generowana w takim przypadku pozwoli jedynie na zapobiegawcze wyłączenia energii elektrycznej (żeby tylko wyłączyć kombajn), pozwalając jednak odtransportować urobek zalegający na przenośniku zgrzeblowym.

Sygnaly sterujące wypracowywane w RSM poprzez LSPS powinny być przesyłane do sterownika kombajnu. W zależności od przyjętego rozwiązania można wykorzystywać te sygnały jako podpowiedź dla operatora, żeby zmniejszyć prędkość urabiania, lub w sposób automatyczny ograniczać prędkość urabiania, informując operatora o wprowadzonej blokadzie.

5. WYKORZYSTANIE WYNIKÓW PROGNOZOWANIA DO STEROWANIA PRACĄ KOMBAJNU

Oprogramowanie zainstalowane w RSM zbiera dane z czujników zainstalowanych w ścianie oraz pod-

łączonych do stacjonarnego systemu metanometrycznego. Praca systemu rozpoczyna się w momencie startu zbierania danych. Dane zgromadzone w bazie danych służą do prognozowania. W pierwszej kolejności tworzony jest model. Dopóki model o satysfakcjonującej jakości nie zostanie stworzony, nie może być zrealizowana prognoza. Jeżeli model spełnia minimalne wymagania dotyczące jakości prognoz (wymagania te można zdefiniować liczbowo i obliczać dla przesuwającego się okna czasowego o zadanej szerokości np. 1 h), to system przechodzi w tryb prognozowania (rys. 11). Jeżeli jakość prognoz spadnie poniżej akceptowalnego minimum (rys. 11), system próbuje automatycznie utworzyć nowy model, bazując na najnowszych danych pomiarowych. Do chwili uzyskania satysfakcjonujących wyników prognoz system pracuje tylko w trybie monitorowania.



Rys. 11. Schemat blokowy algorytmu prognozowania i sterowania kombajnem

Na rysunku 11 przedstawiono schemat blokowy algorytmu sterowania kombajnem. W przypadku prognozy mówiącej o przekroczeniu dopuszczalnego poziomu metanu lub zbliżaniu się do tego poziomu obliczana jest wartości tzw. blokady, mającej na celu – w zależności od wartości prognozy – spowolnienie procesu urabiania. Blokada jest wartością dyskretną

przyjmującą wartości od 1 do 10. Wartość 1 to najmniejsze spowolnienie urabiania, a 10 – to zatrzymanie kombajnu. Wartość blokady wysyłana jest do sterownika kombajnu, gdzie wprowadzana jest jako automatyczna blokada prędkości urabiania lub jako wskazówka dla operatora.

6. PODSUMOWANIE

Mając na uwadze nabyte doświadczenia, przeprowadzone eksperymenty i stan techniki, można stwierdzić, że stosując dotychczasowe rozwiązania i metody, nie można w znaczący sposób poprawić stopnia bezpieczeństwa związanego z zagrożeniem metanowym występującym w ścianach wydobywczych.

Poprawę taką możemy uzyskać, monitorując wydzielanie metanu jak najbliższej źródła, tj. bezpośrednio w ścianie wydobywczej, co pozwoli zaobserwować – bez zbędnego opóźnienia – wypływy metanu, które mogą być przyczyną zwiększonego zagrożenia.

Zwiększenie liczby czujników w połączeniu z metodami analizy danych pomiarowych pozwala na podniesienie jakości zabezpieczeń na wyższy poziom. Uzyskujemy tym sposobem wyprzedzającą informację o możliwym przekroczeniu granicznych poziomów stężenia metanu, dodatkowo informacje te mogą być wykorzystane do wpływania na intensywność prowadzenia procesu urabiania węgla.

Tym samym można stwierdzić:

- pomiar stężenia metanu w wielu miejscach ściany oraz innych parametrów wentylacyjnych pozwala na wykonanie prognozy stężenia metanu na wylocie ze ściany w horyzoncie kilku minutowym,
- uzyskaną prognozę można wykorzystać do wnioskowania w systemach metanometrycznych oraz do sterowania pracą kombajnu (zmniejszenie prędkości ciągnika oraz ewentualne wyłączenie kombajnu) wpływając na stężenie metanu na wylocie ze ściany,
- pomiar metanu w ścianie jak najbliższej miejsca jego wydzielania, pozwala na szybkie wyłączenie energii elektrycznej w ścianie co zabezpiecza przed zainicjowaniem zapłonu metanu od iskry elektrycznej lub iskry od pracujących części maszyn.

Podziękowania

Prace opisane w niniejszej publikacji były częściowo finansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach grantu PBS2/B9/20/2013 realizowanego w ramach Programu Badań Stosowanych.

Literatura

1. Breiman L., Friedman J.H., Olshen R.A., Stone C.J.: *Classification and Regression Trees*, Wadsworth, Belmont CA 1994.
2. Cierpisz, S., Miśkiewicz, K., Wojaczek, A., Musioł, K.: *Systemy gazometryczne w górnictwie*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
3. Dixon W.D.: *A statistical analysis of monitored data for methane prediction*, Ph. D. Thesis, University of Nottingham, Dept. of Mining Engineering, May 1992.
4. Dziurzyński W., Wasilewski S.: *Ocena zagrożenia metanowego w rejonie ściany na podstawie czujników gazometrii oraz symulacji komputerowej przepływu mieszaniny powietrza i metanu*, Przegląd Górniczy 12, 2012 str. 28.
5. Hartman H.L., Mutmansky J.M., Ramani R.V., Wang Y.J.: *Mine ventilation and air conditioning*, New York, Wiley 1997.
6. Klakus J., Krzysotlik P.: *Rozwój aparatury metanometrycznej na tle zmian przepisów*, Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa 2, 1985 str. 27-31.
7. Kozielski M., Skowron A., Wróbel Ł., Sikora M.: *Regression rule learning for methane forecasting in coal mines*, International Conference – Beyond Databases Architectures and Structures. Communications in Computer and Information Science 521, Springer 2015 str. 495-504.
8. Krause E., Łukowicz K.: *Zasady prowadzenia ścian w warunkach zagrożenia metanowego*, Instrukcja Nr 17. Główny Instytut Górnictwa, Mikołów 2004.
9. Krzysostanek Z., Dylong A., Wojtas P.: *Monitorowanie parametrów środowiska w kopalniach węgla kamiennego – System SMP-NT*, Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa 9, 2004 str. 23-45.
10. Noack K.: *Control of Gas Emission in Underground Coal Mines*, International Journal of Coal Geology 35, 1998 str. 57-82.
11. Trenczek S.: *Charakterystyka zagrożeń naturalnych. Monitorowanie, telemetria i narzędzia informatyczne w górnictwie dla poprawy bezpieczeństwa pracy – wybrane zagadnienia*, S. Trenczek (Ed.) Wydawnictwo ITI EMAG, Katowice, 2014 str. 7-29.
12. Wasilewski S.: *Porównanie systemów monitorowania zagrożeń gazowych i kontroli wentylacji o działaniu ciągłym*, Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa 344(4/5), 1999 str. 123-127.
13. Wasilewski S.: *Gazometria automatyczna. Innowacje dla gospodarki*, S. Trenczek (Ed.), Wydawnictwo ITI EMAG, Katowice 2010 str. 141-161.

mgr inż. ARTUR DYLONG
Centrum Transferu Technologii EMAG Sp. z o.o.
ul. Leopolda 31, 40-189 Katowice
a.dylong@cttemag.pl