

Jednodniowe prognozy średniego stężenia metanu na wylocie z rejonu wentylacyjnego jako podstawa do doboru środków profilaktyki metanowej – studium przypadku

One-day prognosis of the average concentration of methane at the outlet to the ventilation region as a basis of selecting preventing measures for methane – case study



Dr hab. inż. Henryk Badura, prof. ndzw. w Pol. Śl.)*



Mgr inż. Adam Niewiadomski)*

Treść: Artykuł realizowano na podstawie danych pomiarowych stężenia metanu na wylocie z rejonu wentylacyjnego ściany C-5 w pokładzie 401/1 w KWK „Pniówek”. Dla 152 dni obliczono wartości średnie stężenia metanu i zbadano właściwości szeregu czasowego średniego stężenia metanu. Dla tych samych dni przeprowadzono prognozy jednodniowe stężenia metanu dwoma metodami. Jedna z metod opiera się na autokorelacji stężenia metanu w dniu analizowanym i poprzednim, a druga uwzględnia dodatkowo wpływ wydobywania na stężenie metanu. Wykazano, że błędy prognoz są małe, a prognozy nadają się do doboru środków doraźnej profilaktyki metanowej.

Abstract: This paper was prepared on the basis of measurement data of concentration of methane at the outlet to the ventilation region of C-5 longwall in the seam no. 401/1 in "Pniówek" coal mine. The average values of methane concentration were calculated for 152 days and the properties of time series of the average methane concentration tested. Simultaneously, for those days, one-day prognoses of methane concentration were elaborated by use of two methods. The first one is based on the autocorrelation of methane concentration in the currently analyzed day and the preceding one. Alternatively, the second method takes also into account the influence of mining on the methane concentration. It has been proved that deviations of the prognoses are insignificant and they are suitable to the selection of preventive measures for methane.

Słowa kluczowe:

stężenie metanu, prognozy stężenia metanu, profilaktyka metanowa, autokorelacja

Key words:

methane concentration, prognoses of methane concentration, methane prevention, autocorrelation

1. Wprowadzenie

Zgodnie z obowiązującymi przepisami [18], „prognozy metanowości bezwzględnej opracowuje się dla rejonu wyrobisk ścianowych w pokładzie węgla i uwzględnia w projekcie technicznym”. Jednocześnie przepisy stanowią, że „prognozy metanowości bezwzględnej wyrobisk wykorzystywane są dla obliczenia potrzebnej ilości powietrza, podejmowania decyzji o ewentualnym wprowadzeniu odmetanowania i dla ustalenia innych niezbędnych środków profilaktyki metanowej”. Prognozy tego typu sporządzają ośrodki naukowe i badawcze, a także osoby fizyczne posiadające uprawnienia rzeczoznawcy do spraw ruchu zakładu górniczego [10, 12, 14, 18, 3].

Na zagrożenie metanowe w ścianie wpływa wiele czynników. Takimi czynnikami są: budowa geologiczna [21], zagrożenia współwystępujące przy [22, 9, 19] ruchu kombajnu i przesuwananiu sekcji w ścianie [27, 13], rozkład pola potencjałów aerodynamicznych w rejonie czynnej ściany [6], zmiana wielkości wydobywania w ścianie [23, 2], zmiana ciśnienia atmosferycznego [11, 15, 24, 25], stosowany układ przewietrzania [8, 16, 20] i inne. Stan zagrożenia metanowego w rejonie ściany jest kontrolowany pomiarami stężenia metanu i parametrów fizycznych atmosfery kopalnianej, wykonywanymi przez systemy telemetryczne [5, 26, 28]. Na podstawie tych pomiarów prowadzone są także badania nad możliwościami komputerowej symulacji zagrożenia metanowego w celu jego prognozy oraz wyjaśnienia nietypowych zdarzeń [4, 7, 6].

*) Politechnika Śląska, Instytut Eksploatacji Złóż

Zachowanie odpowiedniego bezpieczeństwa eksploatacji wymaga dostosowania profilaktyki metanowej do poziomu zagrożenia metanowego. Pomocne w tym względzie mogą być bieżące prognozy zagrożenia metanowego na podstawie pomiarów ciągłych stężenia metanu, wykonywanych w trakcie eksploatacji ścianą.

W artykule przedstawiono walidację dwóch rodzajów jednodniowych prognoz średniego stężenia metanu na wylocie z rejonu ściany.

Analizie poddano zbiór pomiarów stężeń metanu wykonanych w rejonie ściany C-5 w pokładzie 401/1 w KWK „Pniówek” [17]. Długość analizowanej ściany wynosi około 247 m, natomiast przewidywany wybieg ściany wynosi około 780 m. Maksymalna wysokość ściany nie przekracza 1,9 m, a nachylenie podłużne 10° .

Eksploatacja ścianą C-5 rozpoczęła się w styczniu 2014 roku. Eksploatacja pierwszych 35 m wybiegu ściany C-5 prowadzona była poza obrysem zrobów eksploatacyjnych ścian znajdujących się w pokładach wyżej leżących. Od cechy 35 m do cechy 319 m wybiegu, eksploatacja odbywa się częściowo pod zrobami pokładu 361 oraz pod niewybranym fragmentem pokładu 361, w pasie przy chodniku podścianowym C-6. Od cechy 319 m do końca wybiegu ściany, eksploatacja będzie odbywać się w całości pod zrobami pokładu 361.

W polu eksploatacyjnym stwierdzono 3 uskoki o maksymalnych zrzutach dochodzących do około 1 m, 1,4 m oraz 0,5 m.

W stropie pokładu 401/1 występują iłowce z lokalnie występującymi przerostami mułowca o miąższości nie przekraczającej 3 m. Powyżej iłowców nieregularnie zalegają mułowce przechodzące w piaskowce o sumarycznej miąższości od około 7 m do około 16 m. Ponadto w odległości około 20 m od stropu pokładu 401/1 występuje pokład 363 o miąższości od 1,5 m do 2,2 m.

W spągu pokładu 401/1 zalegają iłowce oraz iłowce z przerostami piaskowców i mułowców. Ponadto w odległości

od 2 m do 5 m poniżej spągu pokładu, stwierdzono lokalne występowanie piaskowców i mułowców zapiaszczonych o miąższościach mieszczących się w zakresie od 2,7 m do 3,8 m. W odległości od około 3,6 m do 8,8 m występują dwie warstwy węgla o miąższościach od 0,3 do 0,4 m i od 0,4 do 0,9 m, rozdzielone iłowcem lub łupkiem z laminami węgla.

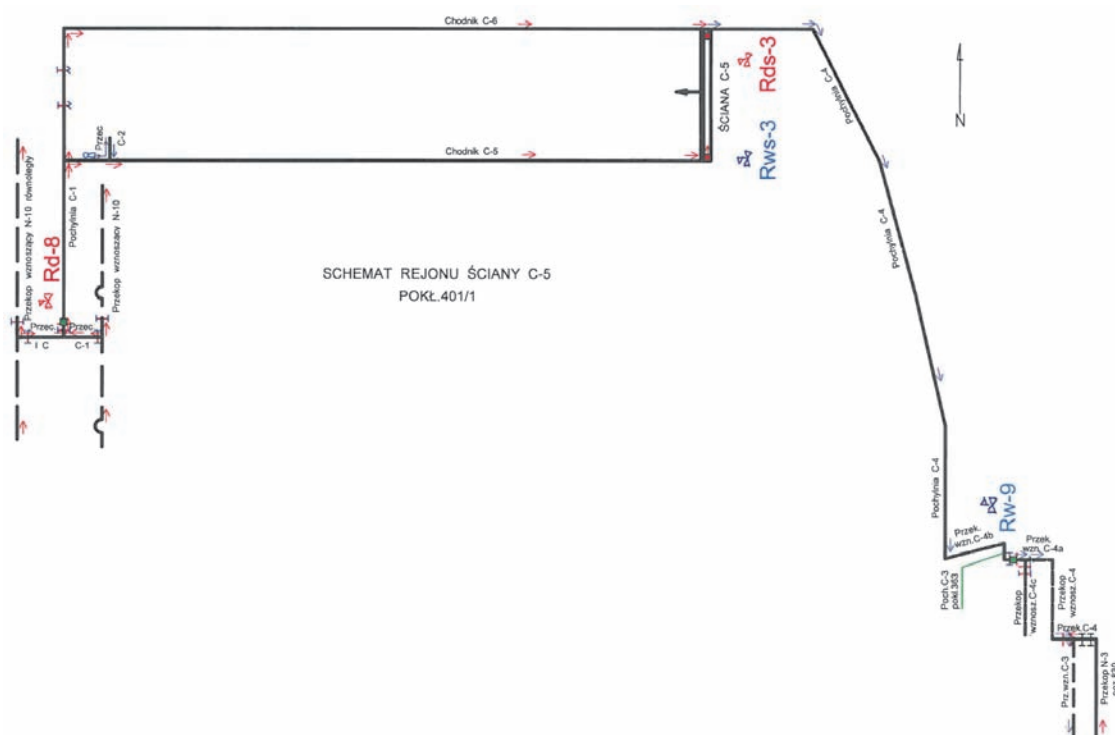
Pokład 401/1 został zaliczony do IV kategorii zagrożenia metanowego, klasy B zagrożenia wybuchem pyłu węglowego, II grupy samozapalności oraz jako zagrożony wyrzutami metanu i skał. Pokład jest nieskłonny do tupań, przewidywane są możliwości wystąpienia wstrząsów o energiach rzędu 10^3 J oraz sporadycznie 10^4 J.

Rejon ściany przewietrzany jest w układzie „Y” (rys. 1). Powietrze świeże doprowadzane jest z poziomu 1000 m, przez przekop wznoszący N-10 równoległy do pokładu 401/1 oraz dalej przecinkami C-1 i I C, pochylnią C-1, a następnie chodnikiem C-5 do ściany C-5.

Powietrze zużyte ze ściany C-5 odprowadzane jest do chodnika C-6, w którym łączy się z prądem powietrza świeżego. Dalej doświeżone powietrze odprowadzane jest pochylnią C-4, a następnie przekopem wznoszącym C-4b, pochylnią C-3 i chodnikiem C-2 w pokładzie 363, przekopami wznoszącymi C-4a, C-4 oraz C-3 do dalszych dróg powietrza zużytego, w kierunku wentylacyjnego szybu V.

Rejon ściany C-5 zabezpieczony został czujnikami metanometrii stacjonarnej:

- na wlocie do ściany – metanomierz wyłączająco-rejestrujący o progu wyłączenia 1,0%, w odległości 2 m od chodnika C-5,
- na wylocie ze ściany – metanomierz wyłączająco-rejestrujący o progu wyłączenia 2,0%, w odległości 2 m od chodnika C-6,
- na wylocie z rejonu – metanomierz wyłączająco-rejestrujący o progu wyłączenia 1,5% zabudowany w przekopie wznoszącym C-4a, w odległości około 20 m przed skrzyżowaniem z przekopem wznoszącym C-4c.



Rys. 1. Schemat przewietrzania rejonu ściany C-5 [5]
Fig. 1. Scheme of ventilation of the C-5 longwall region [5]

2. Dane pomiarowe

Przedstawione w artykule obliczenia i analizy sporządzono w oparciu o pomiary stężenia metanu, zarejestrowane przez czujnik zabudowany na wylocie z rejonu ściany C-5, zainstalowany w przekopie wznoszącym C-4a, w odległości około 20 m przed skrzyżowaniem z przekopem wznoszącym C-4c. Do analizy wykorzystano pomiary w dniach od 30.01. do 30.06.2014 roku, czyli w okresie 152 dni. Udostępniony przez KWK „Krupiński” zbiór z pomiarami stężenia metanu miał postać rekordów, których fragment przedstawiono poniżej.

1.07.2014 3:57:46	1.2%CH ₄	0:00:04	Ostrz
1.07.2014 3:57:37	1.3%CH ₄	0:00:09	Ostrz
1.07.2014 3:55:56	1.2%CH ₄	0:01:41	Ostrz
1.07.2014 3:55:51	1.3%CH ₄	0:00:05	Ostrz
1.07.2014 3:55:30	1.2%CH ₄	0:00:21	Ostrz
1.07.2014 3:55:08	1.1%CH ₄	0:00:22	
1.07.2014 3:55:06	1.0%CH ₄	0:00:02	
1.07.2014 3:53:28	1.1%CH ₄	0:01:38	

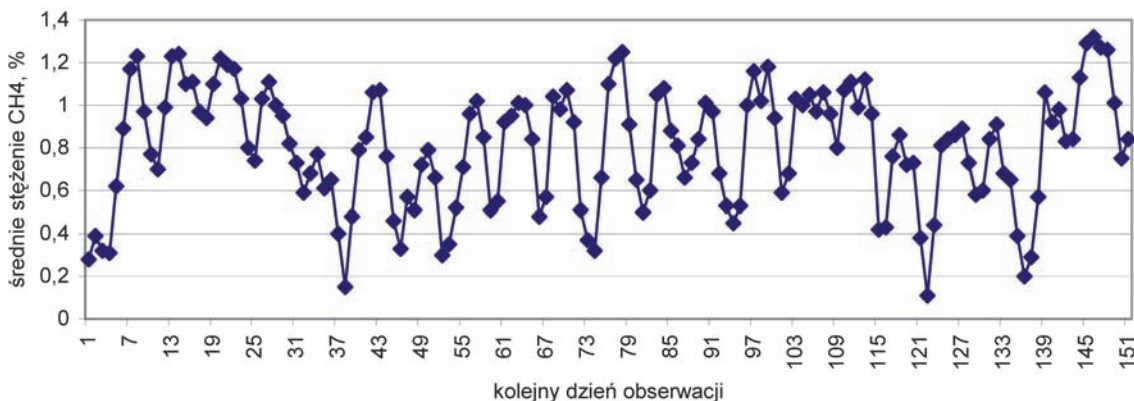
W pierwszej kolumnie zapisana jest data pomiaru i czas rozpoczęcia pomiaru stężenia metanu. Wartość stężenia jest uwidoczniiona w kolumnie drugiej, a kolumna trzecia zawiera czas trwania stężenia metanu o wartości podanej w kolumnie drugiej. Wartość stężenia metanu jest podana z dokładnością pomiarową, czyli 0,1% CH₄. Kolumna czwarta zawiera komentarze. Uwidoczniiony komentarz „Ostrz” zwraca uwagę na przekroczenie przez stężenie metanu progu ostrzegawczego, wynoszącego 1,2%CH₄.

Na podstawie pomiarów obliczono wartości średnie stężenia metanu dla poszczególnych dni, przy czym za początek danego dnia przyjmowano godzinę 6:00:00, a za koniec 5:59:59 w dniu następnym. Takie przyjęcie dnia roboczego jest związane z rozkładem czasu pracy w kopalni. Średnie stężenie metanu jest średnią ważoną, przy czym wagami są czasy trwania poszczególnych wartości stężenia metanu (zapisane w kolumnie 3). Wartości średniego stężenia metanu tworzą szereg czasowy (rys. 2).

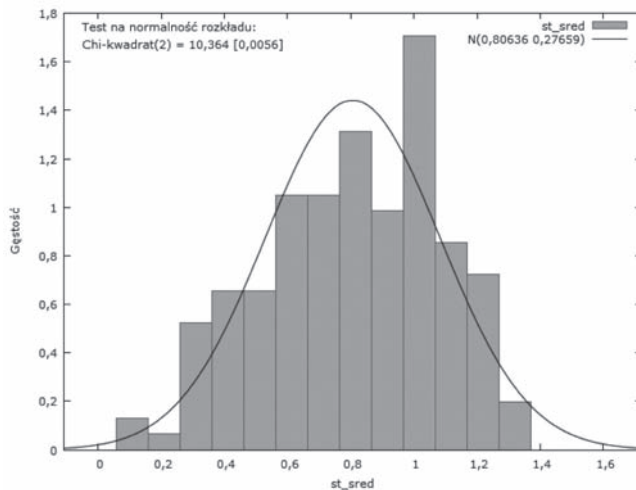
W celu poznania właściwości powyższego szeregu przeprowadzono test normalności rozkładu, zbadano autokorelację oraz sprawdzono występowanie wahań sezonowych.

Test Chi-kwadrat normalności rozkładu średniego stężenia metanu (rys. 3) wykazał, że z prawdopodobieństwem wyższym niż 95% tezę o istnieniu rozkładu normalnego średniego stężenia metanu należy odrzucić.

Rysunek 4 przedstawia funkcję spektrum szeregu czasowego średniego stężenia metanu. Na górnej osi, opisanej jako „okresy”, przedstawiono długość okresu wahań wyrażoną w dniach. Największą wartość funkcja spektrum ma dla okresu siedmiu dni. Wahania sezonowe są zatem siedmiodniowe,



Rys. 2. Wykres średniego stężenia metanu na wylocie z rejonu ściany C-5
 Fig. 2. Graph of the average concentration of methane at the outlet from C-5 longwall region



Rys. 3. Test rozkładu normalnego średniego stężenia metanu
 Fig. 3. Test of normal distribution of the average methane concentration

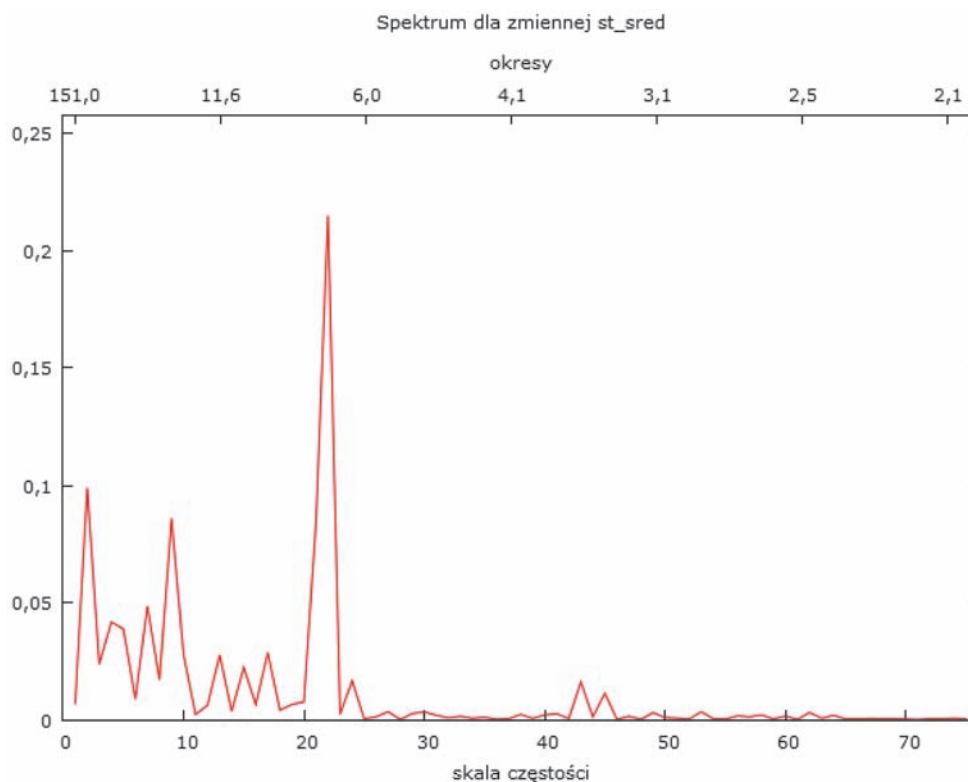
co jest związane z tygodniowym rytmem pracy w kopalni. Wahania siedmiodniowe widoczne są także na rysunku 2.

Rysunek 5 przedstawia wartości funkcji autokorelacji (ACF) i autokorelacji cząstkowej (PACF), czyli zależności stężenia metanu w dniu bieżącym od stężenia metanu w dniach poprzednich. Funkcja autokorelacji wskazuje na zależności pomiędzy bieżącą wartością stężenia a wartościami stężenia w dniach poprzedzających, wskazanych na osi poziomej (opóźnienie – rys. 5). Autokorelacja cząstkowa informuje o czystym związku pomiędzy bieżącą wartością średniego stężenia metanu a wartością średniego stężenia metanu w dniu poprzednim (wskazanym przez wartość opóźnienia – rys. 5), po wyeliminowaniu wpływu autokorelacji w dniach pośrednich.

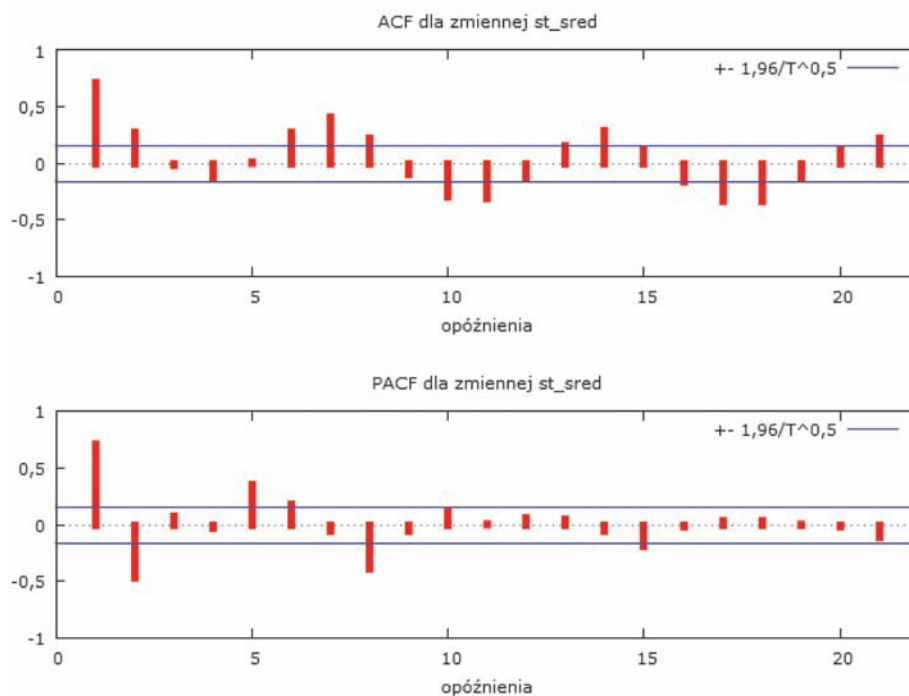
Poziome linie na wykresie wyznaczają przedział istotności współczynników autokorelacji. Można zauważyć, że funkcje autokorelacji, a przede wszystkim funkcja autokorelacji cząstkowej bardzo szybko zdążają do zera.

Z wartości tych funkcji wynika, że największy współczynnik autokorelacji i zarazem autokorelacji cząstkowej, występuje pomiędzy dniem bieżącym a dniem bezpośrednio poprzedzającym. Wartość tego współczynnika wynosi około 0,73.

Tak wysoki współczynnik autokorelacji świadczy o istotnej zależności pomiędzy stężeniami średnimi metanu w dniu bieżącym i poprzednim, a zarazem o możliwości prognozy wartości stężenia metanu na podstawie modelu autoregresyjnego.



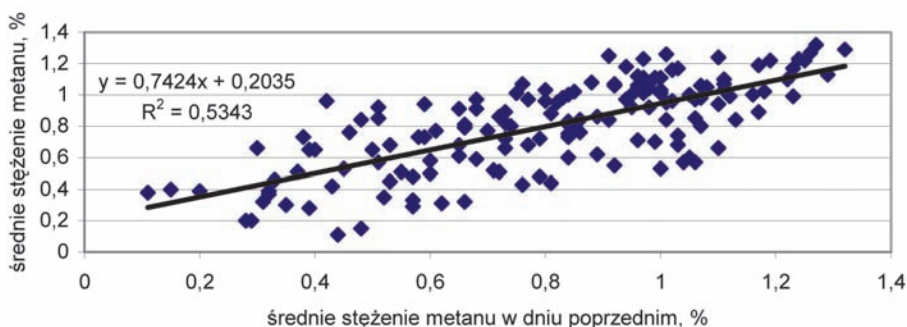
Rys. 4. Funkcja spektrum dla szeregu czasowego średniego stężenia metanu
Fig. 4. Spectrum function for the time series of the average methane concentration



Rys. 5. Funkcja autokorelacji i autokorelacji cząstkowej
Fig. 5. Autocorrelation and partial autocorrelation functions

Na rysunku 6 przedstawiono zależność stężenia metanu w dniu bieżącym od średniego stężenia metanu w dniu poprzednim. Na rysunku jest zauważalny dość znaczny

rozrzut punktów wokół prostej, co sugeruje istnienie udziału także innych czynników wpływających na wartość stężenia w bieżącym dniu.



Rys. 6. Zależność średniego stężenia metanu od średniego stężenia metanu w dniu poprzednim
 Fig. 6. Relation between the average methane concentration and the average methane concentration in the preceding day

3. Jednodniowa prognoza stężenia metanu

W pracy [1] wyprowadzono równania dla jednodniowej prognozy stężenia metanu. Modele prognostyczne są funkcjami liniowymi jednej zmiennej, przy czym zmienną niezależną jest stężenie metanu w dniu poprzedzającym. Modele prognostyczne bazują na pomiarach w dziesięciu ścianach i obejmują 2239 dni. Dla każdego dnia tygodnia opracowano odrębny model prognostyczny. Właściwości szeregu czasowego średniego stężenia metanu na wylocie z rejonu ściany C-5 upoważniają do przypuszczenia, że średnie dobowe stężenie metanu może być prognozowane za pomocą tych modeli. Aby tę tezę sprawdzić, przeprowadzono prognozy *ex post* dla wszystkich dni obserwacji, za wyjątkiem pierwszego dnia.

Rysunek 7 przedstawia wykresy wartości pomiarowych i prognozowanych średnich stężeń metanu w całym okresie obserwacji.

W tabeli 1 przedstawiono statystyczną charakterystykę błędów bezwzględnych i względnych przeprowadzonych prognoz.

Tablica 1. Parametry statystyczne błędów bezwzględnych i względnych jednodniowych prognoz średniego stężenia metanu na wylocie z rejonu ściany C-5

Table 1. Statistical parameters of absolute relative errors in the one-day prognoses of concentration of methane at the outlet from the C-5 longwall region

Parametr	Błąd bezwzględny, %CH ₄	Błąd względny, %
średnia	0,13	21
mediana	0,10	12
kwartyl 3	0,19	27
decyl 9	0,27	45

Dotychczasowe prognozy, wykonane dla sprawdzenia dokładności modeli prognostycznych ustalonych w pracy [1], obarczone były błędami. Błędy bezwzględne charakteryzowały następujące wartości parametrów:

- wartość średnia błędu 0,09%CH₄,
- mediana 0,07%CH₄,
- trzeci kwartyl 0,12%CH₄,
- dziewiąty decyl 0,19%CH₄,

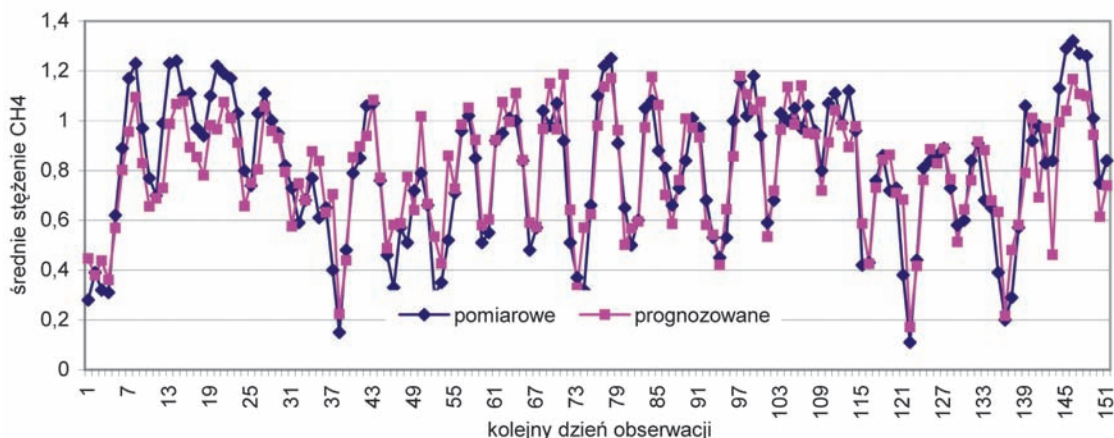
natomiast parametry obliczone dla błędów względnych wynosiły:

- wartość średnia błędu 24%.
- mediana 14%.
- trzeci kwartyl 28%.
- dziewiąty decyl 55%.

Porównując wartości charakteryzujące błędy bezwzględne stwierdzono, że prognozy wykonane dla ściany C-5 są wyższe niż dla prognoz dotychczasowych. Wartości średnie błędów bezwzględnego różnią się o 0,04%CH₄, mediany o 0,03%CH₄, trzecie kwartyli o 0,07%CH₄, a dziewiąte decyle o 0,08%CH₄.

Stężenie metanu na wylocie z rejonu ściany C-5 było dość wysokie, wyższe niż w ścianach, dla których wykonano prognozy poprzednio. Wartość średnia stężenia metanu w ścianie C-5 była wyższa niż w ścianach, dla których wykonano dotychczas analizy i wynosiła 0,78%CH₄, a średnie stężenie metanu w poszczególnych dniach często przekraczało poziom 1%CH₄. Dlatego błędy względne mają wartości parametrów statystycznych nieco niższe niż w prognozach dotychczasowych. Różnica wartości średnich błędów względnych wynosi 3%, median 2%, trzecich kwartyli 1%, a dziewiątych decyli 10%.

Dość znaczne błędy bezwzględne omówionych prognoz mogą być spowodowane wpływem wahań wydobycia na wartość stężenia metanu. W tabeli 2 przedstawiono wartości



Rys. 7. Wykresy średnich stężeń metanu z pomiarów i z prognozy
 Fig. 7. Graph of the average methane concentrations from measurements and prognoses

współczynników korelacji pomiędzy średnim stężeniem metanu a wydobyciem dobowym ze ściany. W tabeli oznaczono przez:

- $st_śred$ – średnie stężenie metanu w dobie rozpatrywanej,
- $st_śred_1$ – średnie stężenie metanu w dobie poprzedniej,
- W – wydobyte w dobie bieżącej,
- W_1 – wydobyte w dobie poprzedniej.

Tablica 2. Współczynniki korelacji między stężeniem średnim metanu i wydobyciem ze ściany C-5

Table 2. Correlation coefficients between the average methane concentration and exploitation for the C-5 longwall

	$st_śred$	$st_śred_1$	W	W_1
$st_śred$	1	0,73	0,34	0,57
$st_śred_1$	0,73	1	-0,11	0,38
W	0,34	-0,11	1	0,38
W_1	0,57	0,38	0,38	1

Największy współczynnik korelacji występuje między średnim stężeniem metanu w dniu bieżącym a średnim stężeniem metanu w dniu poprzednim ($r=0,73$).

Drugim, co do wartości jest współczynnik korelacji między średnim stężeniem metanu w dniu bieżącym a wydobyciem w dniu poprzednim (0,54). Jest to spowodowane dopływem metanu ze strefy odprężonej. Strefa ta jest stale powiększana w związku z postępem ściany, a jej degazacja zmienia się w czasie. Oczywiście najwięcej metanu dopływa do rejonu ściany z warstw świeżo odprężonych, położonych w niewielkiej odległości poziomej od czoła ściany. Dopływ metanu z tej strefy jest jednak opóźniony, co spowodowane jest właściwościami reologicznymi skał.

Współczynnik korelacji między średnim stężeniem metanu a bieżącym wydobyciem wynosi $r=0,34$. Bieżące wydobyte wpływa przede wszystkim na wypływ metanu z eksploatowanego pokładu (z urobku i z czoła ściany). Wartość tego współczynnika jest zbliżona do wartości współczynnika korelacji między wydobyciem w dniu poprzednim i średnim stężeniem metanu w dniu poprzednim ($r=0,38$).

Interesująca jest zależność pomiędzy wydobyciem w dniu bieżącym a stężeniem metanu w dniu poprzednim. Współczynnik korelacji jest ujemny i wynosi $r=-11$. Oznacza to, że wydobyte w dniu bieżącym było ograniczane ze względu na wysokie stężenia metanu w dniu poprzednim. Liczba tego typu zdarzeń nie była duża, stąd wartość tego współczynnika jest mała.

Z pierwszego wiersza tabeli wynika, że zależności średniego stężenia metanu w dniu bieżącym od wszystkich pozostałych wielkości jest istotna.

W pracy [1] został opracowany model prognostyczny średniego stężenia metanu w oparciu o funkcję liniową wielu zmiennych. Wyjściową postać modelu przedstawia wzór

$$st_śred = a_0 + a_1 * st_śred_1 + a_2 * W + a_3 * W_1 + \varepsilon \quad (1)$$

gdzie:

a_0, a_1, a_2, a_3 – są współczynnikami funkcji liniowej, których wartość i istotność ustala się w procesie aproksymacji,

ε – reszty (różnice pomiędzy wartościami pomiarowymi a prognozowanymi).

W trakcie estymacji parametrów modelu należy odrzucić zmienne nieistotne.

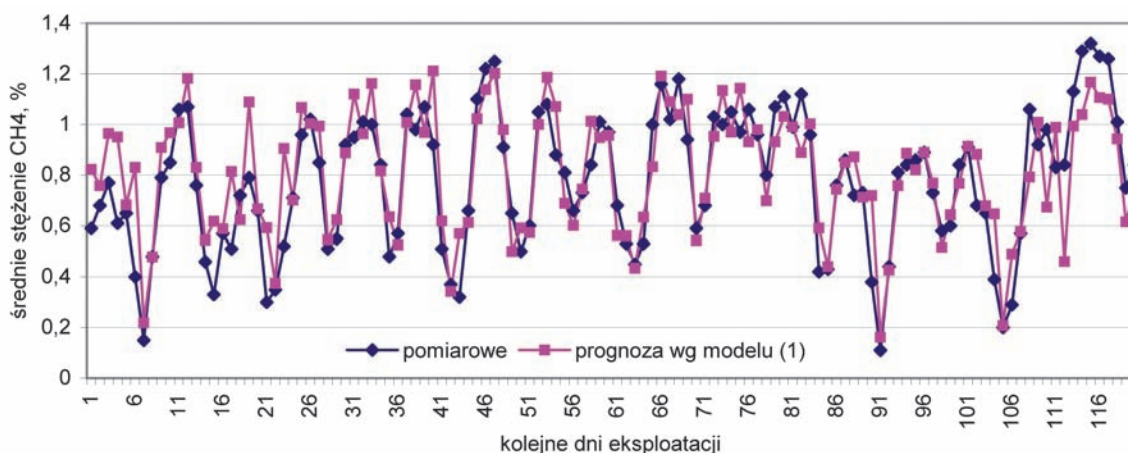
Aby wyznaczyć parametry równania z zadowalającą dokładnością, należy dysponować odpowiednio liczną próbą pomiarową. Musi zatem istnieć pewien okres eksploatacji, w którym jedynie zbiera się wymagane dane, a nie wykonuje się prognoz. Dotychczasowe doświadczenia wskazują, że powinien to być okres około 30 dni.

Prognoza jednodniowa wymaga estymacji parametrów modelu prognostycznego dla każdego dnia prognozy z osobna. Spośród zmiennych niezależnych modelu dwie zmienne są znane (średnie stężenie metanu i wydobyte w dniu poprzedniego), natomiast trzecia, czyli wydobyte w dniu, dla którego jest sporządzana prognoza, jest wartością nieznaną, a jedynie planowaną. Ponieważ w artykule prognozy są wykonywane *ex post*, możliwe było przyjęcie do obliczeń rzeczywistego wydobycia. Prognozy sporządzono dla okresu od 03.03 do 30.06.2014 roku. Na rysunku 8 przedstawiono wartości średniego stężenia metanu pomiarowe i prognozowane według modelu (1).

Tabela 3 zawiera porównanie statystycznych parametrów błędów prognozy stężenia metanu w oparciu o wartości stężenia metanu w dniu poprzednim (wariant 1) oraz prognozy według modelu (1) (wariant 2).

Dane w tabeli 3, odnoszące się do wariantu 1 prognozy, zostały obliczone na podstawie prognoz sporządzonych dla tego samego okresu (od 03.03 do 30.06.2014 roku) jak prognozy według modelu (1), dlatego nieco różnią się od danych zawartych w tabeli 1.

Z tabeli 3 wynika, że wszystkie parametry statystyczne charakteryzujące błędy bezwzględne prognoz uwzględniających wydobyte są nieco mniejsze niż parametry prognoz sporządzonych jedynie na podstawie wartości średniego stężenia metanu w dniu poprzednim. To samo spostrzeżenie dotyczy błędów względnych.



Rys. 8. Średnie stężenie metanu pomiarowe i prognozowane według modelu (1)

Fig. 8. The average methane concentration measured and prognosed acc. to the model (1)

Tablica 3. Porównanie statystycznych parametrów błędów prognoz bez (wariant 1) i z uwzględnieniem wydobycia ze ściany (wariant 2)

Table 3. Comparison of statistical parameters of prognoses errors without (scenario no. 1) and with longwall exploitation (scenario no. 2)

Parametr	Wariant 1		Wariant 2	
	Błąd bezwzględny, %CH ₄	Błąd względny, %	Błąd bezwzględny, %CH ₄	Błąd względny, %
średnia	0,13	23	0,11	18
mediana	0,10	13	0,08	11
kwartyl 3	0,20	31	0,16	19
decyl 9	0,28	48	0,26	45

Aby posłużyć się praktycznie drugim wariantem przedstawionych prognoz jednodniowych, wykonano również prognozy *ex ante* średniego stężenia metanu, przyjmując jako zmienną niezależną wydobycie planowane w dniu, dla którego sporządzana jest prognoza. Różnice pomiędzy wydobyciem rzeczywistym a planowanym mieściły się w granicach od 0 do 280 ton. Prognozy zostały sporządzone dla okresu od 03.03. do 30.06.2014 roku. Na rysunku 9 przedstawiono wartości pomiarowe oraz prognozowane stężenia metanu w oparciu wydobycie planowane.

W tabeli 4 przedstawiono porównanie parametrów statystycznych błędów bezwzględnych oraz względnych wykonanych prognoz według modelu (1) z uwzględnieniem wydobycia rzeczywistego w dniu, na który wykonywana była prognoza (*ex post* – wariant 2) oraz wydobycia planowanego (*ex ante* – wariant 3).

Tablica 4. Porównanie statystycznych parametrów błędów prognoz z uwzględnieniem rzeczywistego wydobycia ze ściany (wariant 2) oraz wydobycia planowanego (wariant 3)

Table 4. Comparison of statistical parameters of prognoses errors with real longwall exploitation (scenario no. 2) and the planned exploitation (scenario no. 3)

Parametr	Wariant 2		Wariant 3	
	Błąd bezwzględny, %CH ₄	Błąd względny, %	Błąd bezwzględny, %CH ₄	Błąd względny, %
średnia	0,11	18	0,12	18
mediana	0,08	11	0,09	11
kwartyl 3	0,16	19	0,16	21
decyl 9	0,26	45	0,26	41

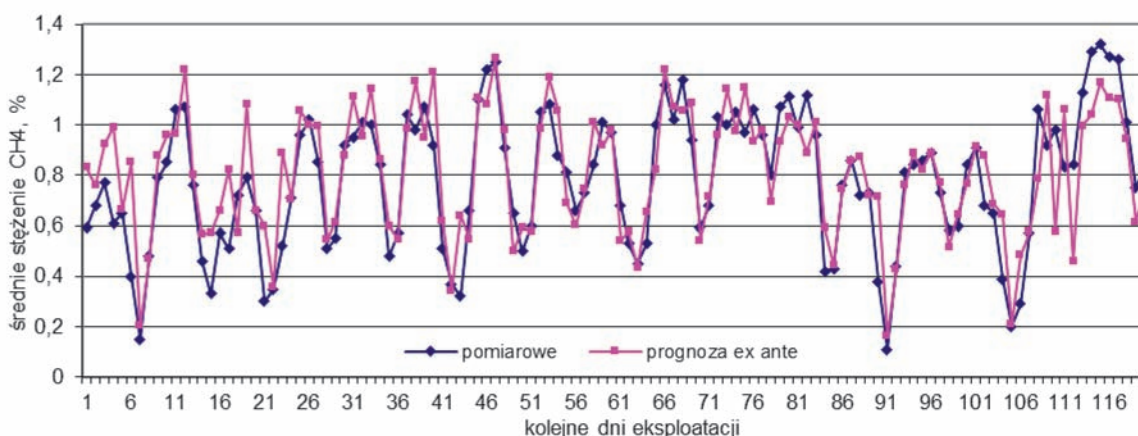
Z zestawionych w tabeli 4 danych wynika, że dla przedstawionych parametrów statystycznych wartości błędów bezwzględnych oraz względnych prognoz z uwzględnieniem wydobycia rzeczywistego i planowanego są zbliżone. Świadczy o tym również fakt, że średnia obliczona na podstawie wartości bezwzględnych różnic wynosi 0,015%CH₄, 90% różnica jest nie większa niż 0,041% CH₄, a maksymalna różnica wynosi 0,111%CH₄.

4. Podsumowanie

Jednodniowa prognoza średniego stężenia metanu może być pomocna przy podejmowaniu decyzji o zastosowaniu doraźnej profilaktyki metanowej, niewymagającej czasochłonnych prac.

Przykładem takiej profilaktyki może być zwiększenie ilości powietrza przepływającego przez ścianę, co jest możliwe w przypadku istnienia tzw. wewnętrznej rezerwy wentylacyjnej lub dzięki ograniczeniu pozarejonowych strat powietrza. Do doraźnych prac profilaktycznych można zaliczyć także zwiększenie liczby strumieni w miejscu intensywnego wypływu metanu, zastosowanie nawiewek (ekranów) kierujących prąd powietrza w ścianie w kierunku zrobów, zastosowanie strumieni ułatwiających powstawanie jednorodnej mieszaniny powietrzno-metanowej.

Służby wentylacyjne kopalni mogą podjąć decyzję o wprowadzeniu dodatkowych działań profilaktycznych opartych o rozwiązania organizacyjne. Przykładem takich działań może być przebudowa sekcji w górnym odcinku ściany po odjechaniu kombajnem na wyznaczoną odległość od chodnika nadścianowego lub przesuwanie sekcji obudowy w górnej części ściany po wyłączeniu dostawy energii elektrycznej.



Rys. 9. Średnie stężenie metanu pomiarowe i prognozowane według modelu (1) w oparciu o wydobycie planowane
Fig. 9. The average methane concentration measured and prognosed acc. to the model (1) on the basis of the planned exploitation

Jednym ze sposobów zmniejszenia stężenia metanu może być także zwiększenie podciśnienia w otworach drenażowych w celu zwiększenia ujęcia metanu.

Ostatecznym środkiem może być także ograniczenie wydobywania.

Podjęcie dodatkowych środków profilaktyki metanowej (np. doświeżanie powietrza na wylocie ze ściany, zwiększenie liczby otworów drenażowych, zmiana układu przewietrzania) wymaga szczegółowej analizy sytuacji metanowej, w tym przeprowadzenia prognozy na dłuższy okres, przykładowo na dwa tygodnie.

Prognozy jednodniowe, wykonane w oparciu o modele wykorzystujące zależność stężenia metanu od stężenia metanu w dniu poprzednim, mogą być prowadzone już od drugiego dnia prowadzenia eksploatacji ściany. Wynika to z faktu, że parametry tych modeli zostały estymowane na podstawie danych z innych ścian [1]. Dotychczasowe badania wykazały, że błędy prognoz wykonanych z zastosowaniem tych modeli są wystarczająco dokładne dla praktyki górniczej. Mogą one służyć także do obliczenia prognozowanej metanowości wentylacyjnej rejonu ściany, co jest istotne w przypadku przewietrzania rejonu ściany w układzie „U”.

Prognozy średniego stężenia metanu, wykorzystujące jako zmienne niezależne średnie stężenie metanu w dniu poprzednim oraz wydobywanie ze ściany w dniu bieżącym i poprzednim, mogą być dokładniejsze od poprzednio omówionych prognoz, jednak parametry modelu prognostycznego muszą być estymowane na podstawie danych pomiarowych wykonanych w rejonie danej ściany. Wymagany jest zatem pewien okres (około 30 dni) na zebranie niezbędnych danych. Zaletą tych prognoz jest możliwość zaplanowania wartości wydobywania tak, aby nie występowały przekroczenia dopuszczalnego stężenia lub dopuszczalnej metanowości wentylacyjnej.

Zaprezentowane metody prognostyczne mogą zostać w łatwy sposób oprogramowane i dołączone do istniejących systemów monitorujących parametry chemiczne i fizyczne atmosfery kopalnianej. Dzięki temu mogą stać się pomocne w ustalaniu bieżących środków prowadzonej profilaktyki metanowej.

Literatura

1. *Badura H.*: Metody prognoz komputerowych stężenia metanu na wylocach z rejonów ścian zawałowych w kopalniach węgla kamiennego. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2013.
2. *Badura H.*: Analiza wpływu niektórych czynników na metanowość rejonu ściany D-2 w pokładzie 409/4 w KWK „R”. „Przeгляд Górnicy” 2007, Nr 4.
3. *Borowski M., Szlązak N.*: Prognozowanie wydzielania metanu do wyrobisk ścianowych w kopalniach węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci neuronowych. Materiały 4 Szkoły Aerologii Górniczej, Kraków 10-13.10.2006.
4. *Dziurzyński W.*: Badania modelowe przepływu mieszaniny powietrza i gazów w rejonie ściany w aspekcie walidacji wyników komputerowej symulacji. „Przeгляд Górnicy” 2009, Nr 11-12.
5. *Dziurzyński W., Wasilewski S., Krach A., Palka T.*: Prognoza stanu atmosfery w rejonie ściany i jej zrobach na podstawie danych z systemu monitoringu kopalni. „Przeгляд Górnicy” 2011, Nr 7-8.
6. *Dziurzyński W., Krause E.*: Influence of the field of aerodynamic potentials and surroundings of goaf on methane hazard in longwall N-12 in seam 329/1, 329/1-2 in „Krupiński” Coal Mine. Archives of Mining Sciences Vol. 57, no. 4, 2012.
7. *Dziurzyński W., Wasilewski S.*: Ocena zagrożenia metanowego w rejonie ściany na podstawie czujników gazometrii oraz symulacji komputerowej przepływu mieszaniny powietrza i metanu. „Przeгляд Górnicy” 2012, Nr 12.
8. *Frycz A., Szlązak J.*: Wpływ rozczinki złoża w pokładach metanowych na występowanie metanu w rejonie ściany. „Przeгляд Górnicy” 1977, Nr 2.
9. *Konopko W., Kabiesz J., Cygankiewicz J.*: Wstrząsy i tąpnięcia jako inicjatory zagrożenia metanowego. „Przeгляд Górnicy” 1992, Nr 3.
10. *Kozłowski B., Grębski Z.*: Odmetanowanie górotworu w kopalniach. Wydawnictwo „Śląsk”. Katowice 1982.
11. *Krach A.*: Wpływ zmian ciśnienia barometrycznego na stężenie metanu w prądzie powietrza wypływającym z rejonu ściany z przyległymi zrobami – model matematyczny i algorytm obliczeniowy. Archives of Mining Sciences 49, 2004.
12. *Krause E., Lukowicz K.*: Dynamiczna prognoza metanowości bezwzględnej ścian. Poradnik techniczny. Wydawnictwo GIG, KD Barbara. Katowice – Mikołów 2000.
13. *Krause E.*: Prognozowanie wydzielania metanu do ścian przy urabianiu kombajnem. „Przeгляд Górnicy” 2009, Nr 3-4.
14. *Lunarszewski L.W.*: Gas prediction, recovery, control and utilization applicable to the mining industry. Presented at The Symposium on recovery and use of coalbet methane. Katowice 1992.
15. *Myszor H., Gruszka A.*: O zależności wydzielania metanu do kopalń od ciśnienia atmosferycznego. „Arch. Górn.” 1996, t. 41, z. 2.
16. *Nawrat S., Kuczera Z., Napieraj S.*: Badania modelowe zwalczania zagrożenia metanowego na wylocie ściany przewietrzanej systemem „U”. Materiały 4 Szkoły Aerologii Górniczej, Kraków, 10-13.10.2006.
17. Projekt techniczny ściany C-5 w pokładzie 401/1. Jastrzębska Spółka Węgla S.A. KWK „Pniówek”. Pawłowice Śl. 2014.
18. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych. DZ.U. z dnia 2 września 2002 r. Nr 139, poz. 1169 wraz z późniejszymi zmianami – ostatnia nowelizacja z dnia 25 czerwca 2010.
19. *Sułkowski J.*: Wspieranie przez naukę zwalczania pożarów i wybuchów w kopalniach węgla kamiennego. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. „Górnictwo i Geologia” 2010, t. 5, z. 3.
20. *Szlązak J., Szlązak N.*: Ocena systemów przewietrzania wyrobisk ścianowych w kopalniach węgla kamiennego w warunkach zagrożenia metanowego i pożarowego. Materiały 3 Szkoły Aerologii Górniczej. Zakopane 2004.
21. *Szlązak N., Sporysz G., Borowski M., Obracaj D.*: Wpływ budowy geologicznej złoża w południowo-wschodniej części Górnos Śląskiego Zagłębia Węglowego na stan zagrożenia metanowego. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie” 2010, Nr 3.
22. *Szlązak N., Borowski M., Kloc L., Obracaj D.*: Możliwości oceny zagrożenia metanowego w ścianach w oparciu o wcześniej prowadzoną eksploatację. „Górnictwo” 2000, R. 24, z. 4.
23. *Szlązak N., Kubaczka C.*: Okresowe zmiany wydzielania metanu do wyrobiska ścianowego w czasie prowadzenia eksploatacji. „Górnictwo i Geoinżynieria” 2011, R. 35, z. 4.
24. *Szywacz J., Wasilewski S.*: Analiza parametrów powietrza kopalnianej. Rozprawy i Monografie. EMAG, Katowice 2003.
25. *Trenczek S.*: Rozszerzenie kontroli w rejonach ścian wydobywczych o pomiary ciśnienia w aspekcie zagrożenia wybuchowego. „Mechanizacja i Automatyka Górnictwa”, 2010, Nr 1.
26. *Wasilewski S., Wojtas P., Rej A.*: Analiza funkcjonowania systemów metanometrycznych w kopalniach. „MiAG” 2005, Nr 4.
27. *Wasilewski S.*: Obserwacja zaburzeń parametrów powietrza wywołanych pracą kombajnu w ścianie B-6 pokł. 358/1 w KWK “BUDRYK” S.A. „Przeгляд Górnicy” 2010, Nr 3-4.
28. *Wasilewski S.*: Systemy kontroli i monitorowania zagrożeń gazowych w polskich kopalniach węgla kamiennego. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie” 2012, Nr 12.