



Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie

**PROJEKT STRATEGICZNY
NARODOWEGO CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU
„POPRAWA BEZPIECZEŃSTWA PRACY W KOPALNIACH”**

INFORMACJA Z REALIZACJI ZADANIA BADAWCZEGO NR 3

**„Opracowanie zasad pomiarów i badań parametrów powietrza
kopalnianego dla oceny zagrożenia metanowego i pożarowego
w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny”**

w etapach realizowanych przez:

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
30-059 Kraków, Al. A. Mickiewicza 30
Wydział Górnictwa i Geoinżynierii
Katedra Górnictwa Podziemnego

Kierownik części zadania badawczego:
Prof. dr hab. inż. Nikodem Szlązak

W ramach Konsorcjum Naukowo – Przemysłowego Katedra Górnictwa Podziemnego AGH zrealizowała następujące etapy zadania badawczego:

Etap nr 2

Analiza obowiązujących metod oceny zagrożenia metanowego wynikających z przepisów Rozporządzenia Ministra Gospodarki oraz stosowanych w światowym górnictwie pod kątem ich skuteczności i przydatności w obecnych warunkach geologiczno-górnicznych

Etap nr 5

Sformułowanie warunków i kryteriów pobierania prób powietrza ze zrobów ściany i przestrzeni otamowanych wraz z analizą i interpretacją wyników oraz oceną wpływu działań profilaktycznych (uszczelnianie zawału, inertyzacji i konsolidacji zrobów, odmetanowania) dla bieżącej oceny stanu zagrożenia metanowego w rejonach wentylacyjnych

Etap nr 14

Opracowanie wytycznych i zasad pomiarów i badań parametrów powietrza kopalnianego dla oceny zagrożenia metanowego w wyrobiskach kopalni i zrobach wraz z ich doświadczalną weryfikacją

Sprawozdanie z realizacji etapów zadania badawczego

Sprawozdanie poniższe stanowi skrócony wyciąg z opracowań naukowo – badawczych wykonanych w poszczególnych etapach zadania badawczego

Etap nr 2

Analiza obowiązujących metod oceny zagrożenia metanowego wynikających z przepisów Rozporządzenia Ministra Gospodarki oraz stosowanych w światowym górnictwie pod kątem ich skuteczności i przydatności w obecnych warunkach geologiczno-górnictwowych

Cel etapu i metoda badawcza

Celem niniejszego etapu badań jest przeprowadzenie analizy dotychczasowych metod oceny zagrożenia metanowego wynikających z aktualnych przepisów. Analiza ma na celu określenie przydatności tych metod w aktualnych warunkach górniczo-geologicznych polskich kopalń podziemnych.

Analiza prowadzona jest na podstawie metody badawczej „analizy i krytyki piśmiennictwa”. Metoda ta polega na wykazaniu celowości oraz oryginalności wyłonionego i podjętego do badań problemu. Wykorzystując taką metodę wykazana zostanie skuteczność aktualnie stosowanych metod oceny zagrożenia metanowego w polskich kopalniach.

Wyniki badań

Obecny stan technicznego wyposażenia kopalń oraz rozwiązania oferowane przez producentów pozwalają na pełną realizację systemów monitoringu w zakresie:

- pomiaru zawartości metanu w miejscach możliwego powstania zagrożenia, w tym zagrożenia spowodowanego dużymi stężeniami metanu pod przenośnikiem ścianowym,
- pomiaru zawartości metanu w rurociągach odmetanowania,
- możliwości i konieczności automatycznego sterowania siecią odmetanowania w zależności od stężenia metanu w rurociągu i wyrobiskach,
- pomiaru prędkości powietrza w wyrobiskach i stężenia metanu wynikającego ze zmian ilości wydzielanego metanu,
- stanu zamknięcia tam wentylacyjnych, które mają wpływ na warunki przewietrzania wyrobisk, a także na zmiany rozkładu potencjału aerodynamicznego w rejonie ściany,

pomiaru zawartości innych gazów (np. tlenu, tlenku węgla, dwutlenku węgla), jeżeli występuje możliwość powstania zagrożenia od wymienionych gazów.

Obowiązujące przepisy bezpieczeństwa nakładają obowiązek stosowania metanometrii automatycznej o skróconym czasie repetycji pomiarów lub o pomiarze ciągłym dla nowo budowanych central oraz w przypadkach, gdy zagrożenie metanowe występuje w układzie skojarzonym z zagrożeniem tapaniami. W przepisach określono warunki minimalne co do ilości i miejsc zabudowy czujników metanometrycznych oraz przepływu powietrza. W ścianach o wysokiej koncentracji wydobywania, prowadzonych w warunkach dużego zagrożenia metanowego, samo przestrzeganie przepisów nie zawsze musi być wystarczające. W przypadku takich ścian staje się konieczne ciągłe monitorowanie stanu parametrów bezpieczeństwa i produkcji w aspekcie ich wpływu na stan zagrożenia metanowego, stan przewietrzania i odmetanowania oraz kontroli pozostałych zagrożeń. W systemie monitorowania parametrów bezpieczeństwa i produkcji powinien być uwzględniony sposób ostrzegania i powiadamiania załogi o zaistniałym zagrożeniu pożarowym.

W obrębie wyeksploatowanego pokładu z zawałem stropu, skutkiem przemieszczania się skał powstaje strefa zawału, w której w polach metanowych gromadzi się metan. Metan ten wydzielają się z węgla pozostałego w przestrzeni zawałowej, a przede wszystkim dopływa z sąsiednich pokładów metanowych przez powstałe w górotworze szczeliny i spękania. Intensywność wydzielania się metanu do zrobów jest różna i zależy od wielu czynników między innymi od metanonośności złoża. Zroby tworzą pewnego rodzaju „zbiornik”, w którym następuje mieszanie się powietrza z metanem oraz gromadzenie się gazu. Skład gazów w zrobach jest bardzo zmienny w poszczególnych miejscach zrobów i jest zależny między innymi od systemu przewietrzania i intensywności wydzielania się metanu ze złoża.

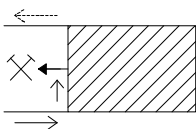
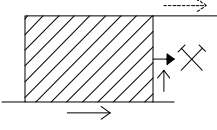
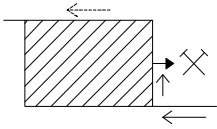
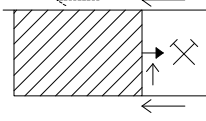
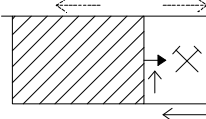
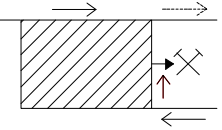
Rozeznanie prawidłowości w formowaniu się zbiorników metanowych w obszarze zrobów stanowi podstawę dla prawidłowej oceny zakresu i stopnia tego zagrożenia. W trakcie projektowania eksploatacji, w zależności od rodzaju skał stropowych, można wyznaczyć strefy o największym

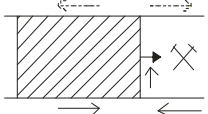
zagrożeniu pożarami endogenicznymi czy stężeniu metanu i przedsięwziąć odpowiednie środki profilaktyki zwalczania zagrożenia pożarowego i metanowego.

Kryteria doboru systemu przewietrzania ścian

W polskich kopalniach węgla kamiennego powszechnie stosowny jest system przewietrzania U od granic pola eksploatacyjnego. W tym systemie są przewietrzane niemal wszystkie wysokowydajne ściany również w przypadku dużego zagrożenia metanowego. Również powszechnie, choć w mniejszym stopniu są stosowane systemy Y w różnych odmianach. System ten jest stosowany zarówno w ścianach metanowych jak i niemetanowych, przy występowaniu zagrożenia pożarowego jak i jego braku. Również i te ściany osiągają rekordowe postępy i wydobywania. Stąd należy sądzić, że o zastosowaniu tego systemu przewietrzania decydują inne względy niż skala zagrożeń naturalnych. W warunkach polskich kopalń stosuje się również systemy przewietrzania Z i H. System Z wymaga minimalnych robót przygotowawczych dla uruchomienia eksploatacji. Natomiast system H jest stosowany w przypadku dużego zagrożenia metanowego. W poniższej tablicy zestawiono stosowane w polskich warunkach systemy przewietrzania ścian eksploatacyjnych oraz podano ich wady i zalety.

Charakterystyka systemów przewietrzania ścian eksploatacyjnych

Lp.	Nazwa technologii	Schemat	Wady	Zalety
1	Przewietrzanie system U od granic pola eksploatacyjnego		wynoszenie metanu ze zrobów, dopływ ciepła ze zrobów, system niekorzystny dla odmetanowania, ogranicza możliwość zwalczania zagrożenia metanowego przy małej miąższości pokładu	ograniczony przepływ przez zrob, ogranicza zagrożenie pożarowe w zrobach
2	Przewietrzanie system Z do granic pola eksploatacyjnego		zagrożenie pożarowe w zrobach, wnoszenie metanu ze zrobów, dopływ ciepła ze zrobów, system niekorzystny dla odmetanowania, konieczność uszczelniania ociosów chodników przyzrobowych	roboty przygotowawcze w ograniczonym zakresie
3	Przewietrzanie system Z od granic pola eksploatacyjnego		zagrożenie pożarowe w zrobach, konieczność uszczelniania ociosów chodników przyzrobowych	korzystny dla zagrożenia metanowego, korzystny dla prowadzenia odmetanowania, korzystny dla zagrożenia tapaniami
4	Przewietrzanie system Y z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym		zagrożenie pożarowe w zrobach, konieczność uszczelniania ociosów chodników przyzrobowych	korzystny dla dużego zagrożenia metanowego, korzystny dla zagrożenia temperaturowego, korzystny dla prowadzenia odmetanowania, możliwość zwalczania zagrożenia metanowego w pokładach o małej miąższości
5	Przewietrzanie system Y z rozprowadzaniem powietrza zużytego w dwóch kierunkach		zagrożenie pożarowe w zrobach, konieczność uszczelniania ociosów chodników przyzrobowych	korzystny z warunkach zagrożenia tapaniami, korzystny dla odmetanowania, możliwość zwalczania zagrożenia metanowego w pokładach o małej miąższości
6	Przewietrzanie system Y z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym od strony zrobów		wzrost zagrożenia metanowego w narożu ściany, dopływ ciepła ze zrobów, konieczność uszczelniania ociosów chodników przyzrobowych	korzystny dla zagrożenia pożarowego, możliwość podawania substancji do zrobów

Lp.	Nazwa technologii	Schemat	Wady	Zalety
7	Przewietrzanie system H		konieczność doprowadzenia powietrza z dwóch stron pola ściany, zagrożenie pożarowe w zrobach	duże bezpieczeństwo w warunkach zagrożenia tapaniami, korzystny dla zagrożenia metanowego, korzystny dla zagrożenia temperaturowego, korzystny dla odmetanowania

Po przeprowadzeniu analizy, wskazano trzy aktualnie najczęściej wykorzystywane systemy przewietrzania ścian z którymi należy wiązać rozwój zwalczania zagrożeń wentylacyjnych:

- U od granic pola eksploatacyjnego,
- Y z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym,
- Y z rozprowadzaniem powietrza odprowadzanego ze ściany w dwóch kierunkach.

Charakterystyka systemów przewietrzania ścian eksploatacyjnych

Przewietrzanie system U od granic pola eksploatacyjnego

System przewietrzania U od granic pola eksploatacyjnego jest stosowany w ścianach przy I i II kategorii zagrożenia metanowego, zaś przy III i IV kategorii może być stosowany w połączeniu z efektywnym odmetanowaniem.

W systemie przewietrzania U od granic pola eksploatacyjnego powietrze jest prowadzone chodnikiem wzdłuż calizny węglowej. Po przewietrzaniu ściany powietrze jest również odprowadzane chodnikiem wzdłuż calizny węglowej.

Przy zastosowaniu tego systemu zakres robót przygotowawczych jest ograniczony oraz przed rozpoczęciem eksploatacji można rozpoznać pokład w polu eksploataowanej ściany.

Czynnikami wpływającymi na rozwój systemu przewietrzania U od granic pola eksploatacyjnego są występujące zagrożenia, szczególnie zagrożenie metanowe. System ten ogranicza możliwość zwalczania dużego zagrożenia metanowego, poprzez brak możliwości zastosowania skutecznego odmetanowania. Szczególnie trudne jest zwalczanie zagrożenia metanowego w pokładach o małej miąższości. Wówczas występują trudności w doprowadzeniu odpowiedniej ilości powietrza do frontu ściany. Dodatkowo rozwój tego systemu na dużych głębokościach eksploatacji ogranicza zagrożenie temperaturowe. Występują trudności w zwalczaniu zagrożenia temperaturowego na froncie ściany związane z wynoszeniem ciepła ze zrobów.

W przypadku skomplikowanej tektoniki pokładu i zaburzeń geologicznych występują trudności w uzyskaniu postępu ściany, który gwarantuje minimalizację zagrożenia pożarowego. System ten zapewnia ograniczony przepływ powietrza przez zrobry ściany i ogranicza zagrożenie pożarowe jedynie w przypadku zapewnienia odpowiedniego postępu eksploatacji ściany. System ten jest skuteczny w ograniczeniu procesu rozwoju samozagrzewania w zrobach ściany. Jednak w przypadku, kiedy występuje zagrożenie pożarowe w zrobach występują ograniczone możliwości jego zwalczania.

Przewietrzanie systemem Y z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym

Układ przewietrzania Y z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym stosowany jest w warunkach zagrożenia metanowego w pokładach o małej miąższości. Zapewnia odsunięcie metanu w zrobach od przestrzeni roboczej frontu ściany.

Powietrze jest doprowadzane dwoma chodnikami wzdłuż calizny węglowej. Po przewietrzeniu ściany powietrze łączy się z powietrzem doświeżającym i jest odprowadzane chodnikiem wzdłuż zrobów.

System ten zapewnia bezpieczeństwo pracy w przestrzeni roboczej frontu ściany w warunkach dużego zagrożenia metanowego i daje korzystne warunki do prowadzenia odmetanowania. System ten stwarza korzystne warunki pracy w ścianie, zmniejsza zagrożenie temperaturowe poprzez oddzielenie dróg odstawy i doprowadzenia powietrza. System ten jest również korzystny w warunkach zagrożenia tapaniami ze względu na trzy drogi wyprowadzenia załogi.

W przypadku tego systemu jest możliwe dobre rozpoznanie pokładu w polu eksploatacji ściany.

Przewietrzanie systemem Y z odprowadzeniem powietrza w dwóch kierunkach

Układ przewietrzania Y z odprowadzeniem powietrza w dwóch kierunkach jest korzystny w warunkach dużego zagrożenia metanowego w pokładach o średniej i dużej miąższości.

Powietrze jest doprowadzane jednym chodnikiem wzdłuż calizny węglowej. Po przewietrzeniu ściany powietrze jest odprowadzane w dwóch kierunkach wzdłuż calizny węglowej i wzdłuż zrobów. System ten zapewnia bezpieczeństwo pracy w przestrzeni roboczej frontu ściany w warunkach dużego zagrożenia metanowego w pokładach o średniej i dużej miąższości. Stwarza korzystne warunki klimatyczne. Jest również korzystny w warunkach zagrożenia tapaniami ze względu na trzy drogi wyprowadzenia załogi.

System ten pozwala na dobre rozpoznanie pokładu w polu eksploatacji ściany.

Rozwój systemów przewietrzania

Generalnie rozwój systemów przewietrzania powinien być skierowany na poprawę bezpieczeństwa względem zagrożenia pożarowego, tapaniami, metanowego i temperaturowego.

W celu uzyskania dużej koncentracji wydobywania konieczne jest zastosowanie nowoczesnych rozwiązań techniki urabiania kombajnowej i strugowej, przez co będzie można uzyskać duże postępy ściany. Pozwoli to na ograniczenie zagrożenia pożarowego ale jednocześnie wzrośnie zagrożenie metanowe związane z większym postępem ściany i zagrożenie temperaturowe związane z głębokością eksploatacji oraz mocą zainstalowanych maszyn i urządzeń w rejonie ściany.

Rozwój systemów przewietrzania wiąże się z rozwiązaniem szeregu problemów do których zalicza się:

- sposób likwidacji chodników przyścianowych w celu utrzymania odpowiedniego postępu eksploatacji,
- sposób doszczelnienia zrobów ściany oraz uszczelniania pasa chodnika przyzrobowego,
- sposób lokowania pyłów dymnicowych w zrobach ściany,
- skuteczny sposób zwalczaniem zagrożenia metanowego,
- skuteczne systemy odmetanowania,
- sposób chłodzenia powietrza w ścianie, szczególnie w pokładach o małej miąższości.

Dobór systemu przewietrzania ściany w przypadku współwystępowania zagrożeń

Do najczęściej współwystępujących zagrożeń należą: metanowe, temperaturowe, pożarowe i tapaniami. W każdym z tych przypadków niezwykle niebezpieczne jest występowanie zagrożenia tapaniami. Zarówno sama profilaktyka tapaniowa jak i wstrząsy mogą powodować wzrost zagrożenia pożarowego w wyniku zeszcelinowania calizny węglowej i umożliwienia przez to intensywnej penetracji powietrza w głąb tej calizny. Spośród współwystępujących zagrożeń najmniej groźne jest zagrożenie temperaturowe. Jednak utrudnia ono osiąganie wysokiej koncentracji wydobywania ze ściany tym bardziej, że projektując ściany o dużym wydobywaniu z reguły przyjmuje się system przewietrzania U od granic pola eksploatacyjnego. Ten zaś system jest niekorzystny dla zwalczania zagrożenia temperaturowego.

Z przeprowadzonych rozważań wynika, że decydujący wpływ na wybór systemu przewietrzania posiadają w następującej kolejności: względy ruchowe, sposób rozcięcia złoża i dopiero zagrożenia naturalne. W warunkach polskich kopalń w zdecydowanej większości stosowany jest system przewietrzania U od granic pola eksploatacyjnego, co wynika z ograniczonych robót przygotowawczych, możliwości rozpoznania pokładu w polu wybierania ściany, ograniczenia wpływu na eksploatację przestrzeni wyeksploatowanej. Dobór systemu przewietrzania jest dokonywany w oparciu o zagrożenie najmniej rozpoznane w tym przypadku zagrożenie tapaniami, a w dalszej kolejności o zagrożenie o większej skali spośród zagrożenia metanowego i pożarowego.

Metody obliczania rozplywu powietrza i rozkładu stężenia metanu w zrobach ścian zawałowych

W obrębie wyeksploatowanego pokładu z zawałem stropu, skutkiem przemieszczania się skał jest powstanie strefy zawału, w której w polach metanowych gromadzi się metan. Metan ten wydziela się z węgla pozostałego w przestrzeni zawałowej, a przede wszystkim dopływa z sąsiednich pokładów metanowych przez powstałe w górotworze szczeliny i spękania.

Z górotworu metan jest wydzielany w sposób ciągły do zrobów ścian zwłaszcza eksploatowanych z zawałem stropu. Intensywność wydzielania się metanu do zrobów jest różna i zależna od wielu czynników między innymi od metanonośności złoża. Zroby tworzą pewnego rodzaju „zbiornik”, w którym następuje mieszanie się powietrza z metanem oraz gromadzenie się gazu. Skład gazów

w zrobach jest bardzo zmienny w poszczególnych miejscach zrobów i zależy jest między innymi od systemu przewietrzania i intensywności wydzielania się metanu ze złoża.

Niekiedy w procesie formowania się zawału dochodzi do wczesnego osiadania na rumowisku skalnym zwieszonych warstw skalnych stropu zasadniczego. Wówczas powstaje obszar o różnym zasięgu, w którym warstwy skalne zawisają nad rumowiskiem skalnym. Nagłe załamanie się tych warstw może spowodować wypchnięcie nagromadzonego w zrobach metanu do wyrobiska ścianowego i chodników przyścianowych i spowodować tam nagły wzrost jego stężenia. W przypadku, gdy w wyrobiskach tych oraz w strefie zawału istnieją źródła inicjacji, może nastąpić zapłon metanu, który w sprzyjających okolicznościach może pociągnąć za sobą wybuch pyłu węglowego.

Rozkład stężenia metanu w zrobach nie ulega istotnym zmianom w przypadku stałego dopływu metanu z górotworu i niezmiennego sposobu przewietrzania. Stężenia w obszarze zrobów ulegają powolnym zmianom w czasie eksploatacji. Stężenie metanu może podlegać gwałtownym zmianom w przypadku wystąpienia zaburzeń wywołanych:

- zmianami pola potencjału aerodynamicznego np. wskutek otwarcia, zamknięcia śluz wentylacyjnych, zmian systemu przewietrzania,
- zmianami ciśnienia atmosferycznego,
- zawałem skał stropowych, wskutek czego mogą nastąpić gwałtowne wypchnięcia metanu,
- -zmianami spowodowanymi w oporze aerodynamicznym zawału,
- wzrostem metanonośności złoża.

Dokładne określenie stężeń metanu w przestrzeni zrobów jest bardzo trudne. Jednakże opierając się na wynikach pomiarów składu atmosfery zrobów i zmian ilości powietrza w ścianie oraz uwzględniając system przewietrzania i metanonośność pokładów można oszacować ich prawdopodobny rozkład jak również w przybliżeniu wyznaczyć przestrzenie w zrobach o różnych stanach wybuchowości atmosfery.

Możliwości i okoliczności inicjacji zapłonów metanu w przestrzeni zrobów może być wiele. Zainicjowanie zapłonu metanu może nastąpić w przypadku wystąpienia samozapalenia się węgla tj. wystąpienia pożaru endogenicznego. Strefa samozagrzewania lub pożaru może znajdować się w przestrzeni zrobów wypełnionych atmosferą o różnym stanie wybuchowości.

W normalnych stanach przyczynami inicjacji zapłonu w przestrzeni zrobów mogą być:

- roboty strzałowe dla wywołania zawału stropu,
- iskry wywołane wzajemnym uderzaniem brył szczególnie twardych przy formowaniu się zawału,
- iskry mechaniczne wytwarzane przez organ urabiający kombajnu w zetknięciu z twardymi skałami stropu i spagu.

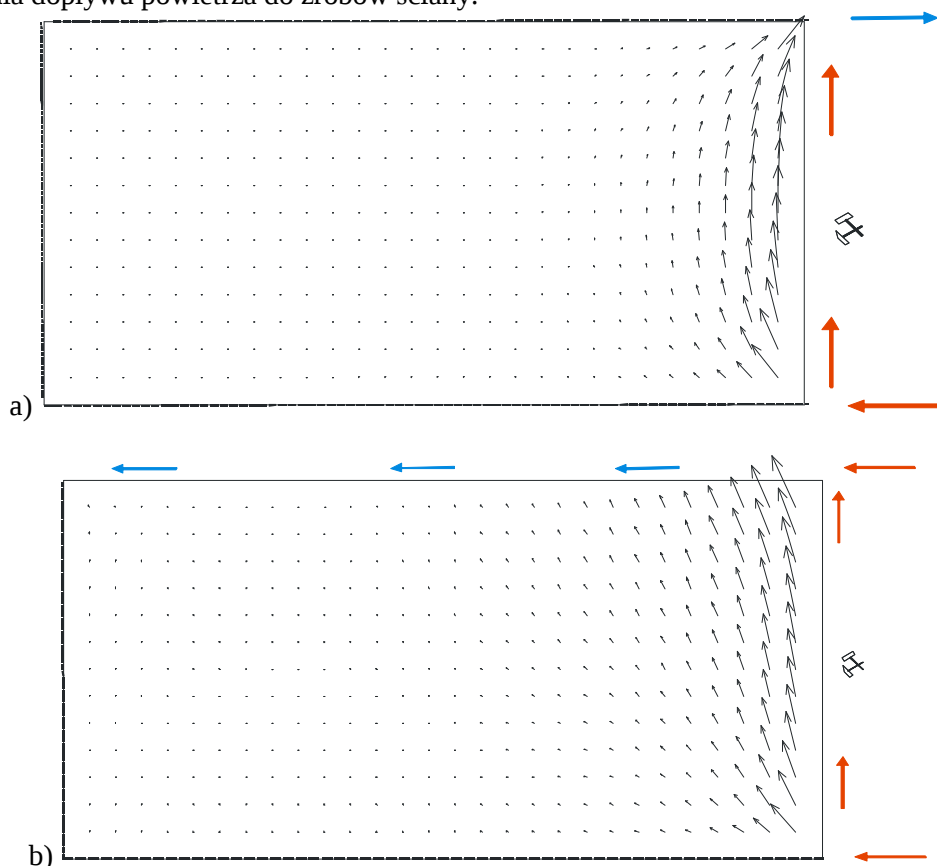
Stopień tego zagrożenia uzależniony jest od wielu czynników, spośród których można wyodrębnić dwa podstawowe: strumień objętości wydzielonego metanu w zrobach (stężenie w atmosferze zrobów) oraz intensywność przepływu powietrza przez zroby uzależnione przeważnie od ukształtowania pola potencjału aerodynamicznego w sieci wentylacyjnej, obejmującej zroby i czynne wyrobiska w polach metanowych.

Obliczenia rozkładu ciśnienia i prędkości przepływu powietrza w zrobach

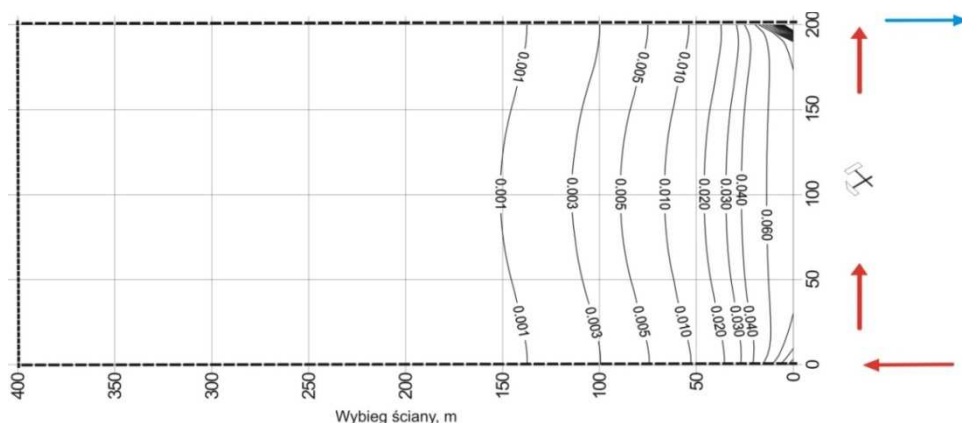
Rozpatrywanie zjawisk zachodzących w zrobach ścian zawałowych wymaga znajomości takich parametrów jak porowatość i przepuszczalność. Są one podstawą do sformułowania modelu przepływu powietrza i gazów przez ośrodek zawału. Poznanie zjawisk zachodzących w zrobach ścian zawałowych możliwe jest przez opracowanie modelu opisującego transport metanu przez zroby przy różnych sposobach ich przewietrzania.

Opracowany program obliczeniowy, umożliwia określenie dla stanu ustalonego rozkładu prędkości przepływu powietrza w strefie zawału i ciśnienia powietrza. Znajomość rozkładu prędkości powietrza w zrobach w zależności od rodzaju skał stropowych jest bardzo istotna przy doborze profilaktyki zwalczania zagrożenia pożarowego. Dlatego też poniżej przedstawiono przykład obliczeniowy. Obliczenia wykonano dla różnych systemów przewietrzania ściany (U od granic, Y) położonej w identycznych warunkach geologicznych charakteryzujących się jednakowym oporem rozwarstwienia skał stropowych i jednakową wartością straty napory w rejonie przewietrzanej ściany oraz jednakowymi parametrami geometrycznymi (długość ściany 200 m, wybieg ściany 500 m, wysokość ściany 2,5 m). Przeprowadzone obliczenia umożliwiają uzyskanie rozkładu prędkości

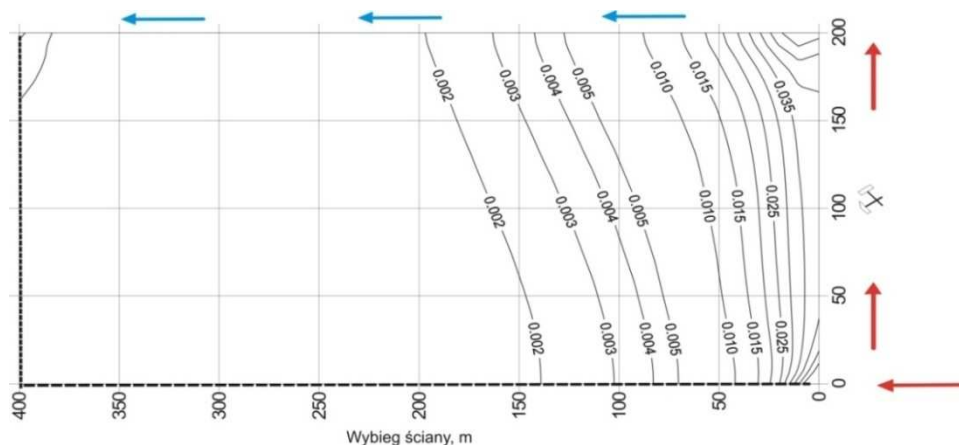
przepływu powietrza w przestrzeni zrobów ściany w płaskim układzie w formie rozkładu wektorów oraz rozkładu ciśnienia. Obliczenie rozkładu ciśnienia jest niezbędne dla obliczenia rozkładu prędkości przepływu powietrza. Na poniższym rysunku przedstawiono rozkład wektorów prędkości liniowej powietrza w obszarze zrobów ściany przewietrzanej systemem na U od granic. Dla analizy praktycznej takie przedstawienie wyników obliczeń jest niewygodne i mało zrozumiałe. Dlatego też postanowiono w obszarze zrobów przedstawić rozkład wartości wektorów nie uwzględniając jego kierunku. Wówczas w obszarze zrobów uzyskujemy izolinie rozkładu prędkości przepływającego powietrza. Na kolejnych rysunkach dla tych samych ścian przedstawiono mapę izolinii prędkości powietrza w obszarze zrobów. Takie przedstawienie wyników obliczeń umożliwia dokonanie oceny intensywności przewietrzania różnych stref zrobów zawałowych i przyjęcie odpowiedniej profilaktyki ograniczenia dopływu powietrza do zrobów ściany.



Rozkład wektorów prędkości liniowej powietrza w obszarze zrobów ściany: a) przy przewietrzaniu ściany systemem U od granic, b) przy przewietrzaniu ściany systemem Y od granic



Mapa izolinii prędkości powietrza w zrobach przy przewietrzaniu ściany systemem U od granic

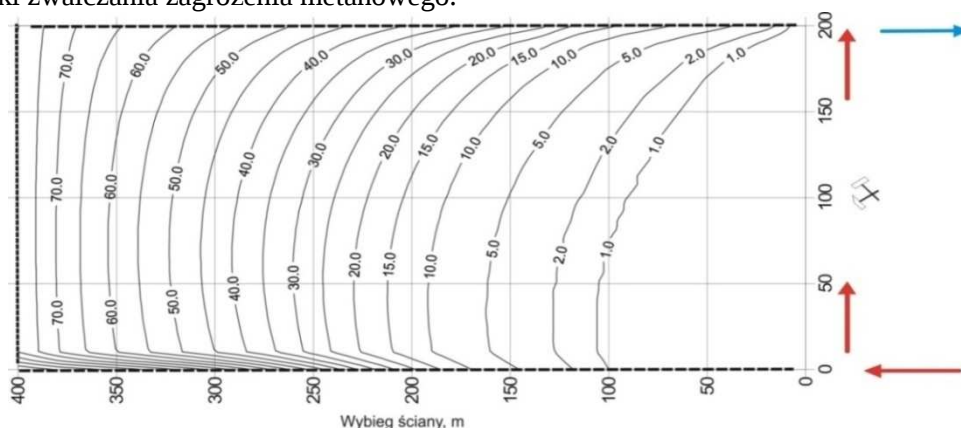


Mapa izolinii prędkości powietrza w zrobach przy przewietrzaniu ściany systemem Y od granic

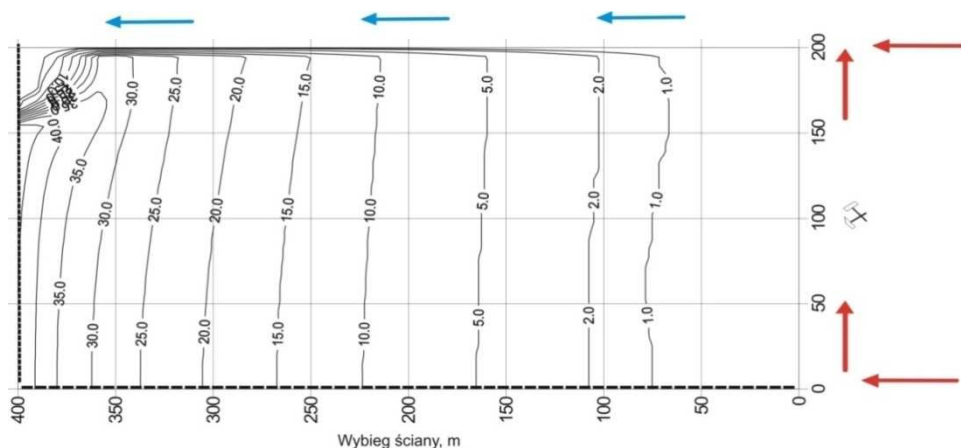
Obliczenie zmian stężenia metanu w zrobach

Podobnie jak dla rozptyłu powietrza w zrobach można określić programami rozkład stężenia metanu w zrobach ścian zawałowych przy różnych systemach przewietrzania.

Obliczenia wykonano dla różnych systemów przewietrzania ściany (U od granic, Y) położonej w identycznych warunkach geologicznych charakteryzujących się jednakowym oporem rozwarstwienia skał stropowych i jednakową wartością straty napory w rejonie przewietrzanej ściany oraz jednakowymi parametrami geometrycznymi. Przeprowadzone obliczenia umożliwiają uzyskanie rozkładu stężenia metanu w przestrzeni zrobów ściany w płaskim układzie w formie izolinii pola stężenia metanu. Na rysunkach poniższych przedstawiono mapę izolinii rozkładu stężenia metanu w obszarze zrobów ściany przewietrzanej systemem U od granic. Takie przedstawienie wyników obliczeń umożliwia dokonanie oceny intensywności wydzielania metanu ze zrobów i określenie w zrobach zawałowych stref o podwyższonym stężeniu metanu oraz przyjęcie odpowiedniej profilaktyki zwalczania zagrożenia metanowego.



Mapa izolinii stężenia metanu w zrobach przy przewietrzaniu ściany systemem U od granic



Ocena zagrożenia metanowego w innych krajach

Rozwiązania techniczne i prawne związane z prowadzeniem robót górniczych w warunkach zagrożeń naturalnych zależą od zakresu prowadzonych robót górniczych i ich nasilenia, a tym samym specyfiki górnictwa danego kraju. Niemniej jednak poniżej przedstawiono ocenę stanu zagrożenia metanowego w wybranych krajach.

Stany Zjednoczone Ameryki

Ocena stanu zagrożenia metanowego odbywa się w ten sposób, że wszystkie podziemne kopalnie i powierzchniowe zakłady są sklasyfikowane do jednej z kategorii lub podkategorii w celu ochrony ludzi przed zagrożeniem wybuchu metanu i pyłu zawierającego części lotne. Kategorie i podkategorie zdefiniowane są w sposób następujący:

Kategoria I odnosi się do kopalń prowadzących wydobywanie łatwopalnej kopaliny, z której wydziela się metan lub istnieje możliwość jego wydzielenia opierając się na historii kopalni lub geologii obszaru, gdzie położona jest kopalnia. Kategoria ta jest podzielona na podkategorie I-A, I-B, I-C w sposób następujący:

- podkategoria I-A odnosi się do kopalń prowadzących wydobywanie łatwopalnej kopaliny gdzie wydziela się metan, a w której:
A - oznacza stężenie metanu o wartości 0,25% lub wyższe które zostało wykryte w atmosferze kopalnianej i jest potwierdzone przez analizy laboratoryjne,
B - nastąpiło zapalenie metanu,
- podkategoria I-B odnosi się do kopalń prowadzących wydobywanie łatwopalnej kopaliny, z której wydziela się metan lub istnieje możliwość jego wydzielenia opierając się na historii kopalni lub geologii obszaru, na którym kopalnia się znajduje, a w której:
A - stężenie metanu o wartości 0,25% lub wyższe nie zostało wykryte w atmosferze kopalnianej,
B - nie nastąpił zapalenie metanu,
- podkategoria I-C odnosi się do kopalń, w których wydobywana kopalina jest łatwopalna a pył zawiera części lotne w ilości 60% lub więcej oznaczone przy pomocy wolnej wilgoci.

Poza tym w USA występuje różnorodność kopalń wydobywających rudy metali i niemetalu, w których metan uwalniany jest do atmosfery w bardzo różny sposób. Z tego powodu poszczególnym kopalniom przypisano kategorię określającą potencjalne zagrożenie metanowe. MSHA (Instytut Bezpieczeństwa Kopalnianej i Administracji Zdrowia) w 1985 roku zdefiniował różne kategorie gazowości kopalń według standardów federalnych, jak przedstawiono poniżej.

Kategoria I - odnosi się do kopalń wydobywających łatwopalną kopalinę albo uwalniającą metan albo mającą możliwość jego uwolnienia. W obrębie tej kategorii istnieje kilka podkategorii, w zależności od aktualnej obecności metanu (od 0,25% lub więcej) lub występowania zapalenia (podkategoria I-A) lub też jego braku (podkategoria I-B). Podkategoria I-C ustalona została do uwzględnienia potencjalnego zagrożenia ze strony łatwopalnego pyłu. Kategoria I odnosi się głównie do kopalń olejów łupkowych.

Kategoria II - odnosi się do regionalnych kopalń soli, w przypadku których historia kopalni lub geologia jej położenia wskazuje na potencjalną możliwość wystąpienia wyrzutów. Podobnie jak w przypadku kategorii I występują tu dwie podkategorie, w zależności od wystąpienia wyrzutu, który uwalnia 0,25% metanu (podkategoria II-A) lub nie (podkategoria II-B).

Kategoria III - odnosi się do kopalń, które zajmują się wydobywaniem niepalnej kopaliny, z której uwalnia się metan o stężeniu wybuchowym, lub jest zdolna do formułowania wybuchowej mieszaniny z powietrzem, bądź ma do tego potencjał bazując na historii kopalni lub geologii powierzchni, na której ta kopalnia jest usytuowana. Kategoria III odnosi się głównie do kopalni Trona (Trona - rodzima sól, składająca się z kombinacji obojętnego i kwaśnego węglanu sodu. Występuje jako białe krystaliczne włókna w słonych jeziorach i źródłach - inaczej nazywane urao lub nitrum)

Kategoria IV - odnosi się do kopalń wydobywających niepalną kopalinę, a z której wydziela się metan na poziomie niewybuchowym i nie jest zdolna do tworzenia mieszanin wybuchowych z powietrzem. Kopalnia potasowe w Nowym Meksyku charakteryzują się zawartością metanu w glinie i pokładach łupków w górotworze równorzędnie z wysoką procentową zawartością obojętnego azotu. Kategoria IV odnosi się głównie do kopalń potasowych.

Kategoria V - odnosi się głównie do kopalń ropy naftowej. Wszystkie kopalnie, które nie są umieszczone w żadnej z powyższych kategorii i podkategorii.

Kategoria VI - obejmuje kopalnie niegazowe.

Każda kategoria (lub sektor przemysłowy) ma swój własny zestaw wymagań dla monitorowania i kontrolnych pomiarów. Kategorie I, II i V w dużym stopniu odpowiadają standardom kopalń węgla kamiennego, z w pełni dopuszczalnym wyposażeniem w otoczeniu produkcji. Kategoria II rozpoznaje czy występuje tylko możliwość uwalniania metanu w niebezpiecznych ilościach podczas wierceń, przecinki i robót strzałowych i z tego powodu te czynności są kontrolowane. Kategoria IV ma kilka ograniczeń, z monitorowaniem gazów jako podstawowym wymogiem.

Ocena stanu zagrożenia metanowego realizowana jest o pomiar stężenia metanu zarówno w systemie pomiarów ręcznych jak i w systemie monitoringu stężenia gazów.

Przepisy federalne nr 30 dotyczące zasobów kopalni użytecznych zawierają zasady bezpieczeństwa pracy w kopalniach.

Przepisy określają, że pomiary stężenia metanu należy wykonywać w odległości co najmniej 30 cm od stropu, czoła przodka, spągu i ociosów. W wyrobiskach z prądami powietrza doprowadzanego do rejonów należy wykonywać pomiary stężenia metanu i w przypadku osiągnięcia lub przekroczenia stężenia metanu 1,0% należy wyłączyć urządzenia elektryczne i mechaniczne (oprócz iskrobezpiecznych systemów monitorowania) oraz rozpocząć działania wentylacyjno-organizacyjne celem obniżenia stężenia metanu poniżej 1,0%. Dopóki stężenie metanu nie spadnie poniżej 1,0% wykonywanie jakichkolwiek robót górniczych w tych wyrobiskach jest zabronione. W momencie kiedy stężenie metanu uzyska lub przekroczy 1,5% należy odłączyć zasilanie elektryczne i wycofać załogę z całego rejonu. Czujniki stężenia metanu w systemach metanometrii automatycznej w wyrobiskach z prądami powietrza doprowadzanego do rejonów wydawać powinny ostrzeżenia o osiągnięciu stężenia 1,0%; natomiast w przypadku osiągnięcia stężenia metanu 1,5% czujniki powinny wydawać sygnał dźwiękowy i wizualny.

W wyrobiskach z przenośnikami taśmowymi w prądzie powietrza doprowadzanego czujniki należy zbudować za punktem załadunkowym lub przesypem w kierunku przepływu powietrza. W przypadku wentylacji odrębnej czujnik montuje się w odległości ok. 90 m za wentylatorem ssącym w opływowym prądzie powietrza, zaraz za punktem przeładunkowym węgla (przesypem lub rozładunkiem i załadunkiem urobku) w kierunku przepływu powietrza, przed skrzyżowaniem gdzie zużyty prąd powietrza łączy się z innym prądem powietrza oraz w prądzie powietrza zużytego przed jego doprowadzaniem do przewietrzanych wnęk przy tamach izolacyjnych starych zrobów.

W prądach powietrza odprowadzanego z rejonów eksploatacyjnych, kiedy stężenie metanu uzyska lub przekroczy 1,5% należy dokonać zmian w regulacji wentylacji celem obniżenia stężenia metanu. Należy wycofać załogę z zagrożonego rejonu oraz wyłączyć urządzenia elektryczne i mechaniczne (oprócz iskrobezpiecznych systemów monitorowania). Dopóki stężenie metanu nie spadnie poniżej 1,5% wykonywanie jakichkolwiek prac jest zabronione. W przypadku stosowania systemu metanometrii czujnik powinien wydawać sygnał dźwiękowy i wizualny po osiągnięciu stężenia metanu 1,5%.

Systemy metanometrii powinny być stosowane we wszystkich przodkach, w których odbywa się urabianie mechaniczne lub wykorzystywane są urządzenia mechaniczne do ładowania i rozładowywania węgla (w przypadku odstawy maszynami samojezdnymi). W ścianach eksploatacyjnych czujnik metanometrii pewien być zbudowany na wylocie z wyrobiska ścianowego. Ponadto należy zbudować czujnik na kombajnie, tak blisko organu urabiającego jak to możliwe. Alternatywne rozmieszczenie czujników metanu może być przyjęte i zatwierdzone w planie wentylacji kopalni. Gdy stężenie metanu na dowolnym czujniku osiągnie 1,0% czujnik wydaje sygnał ostrzegawczy. Czujnik powinien automatycznie wyłączyć urządzenia elektryczne oraz silniki spalinowe, na których jest zainstalowany spod zasilania w przypadku gdy stężenie metanu na którymkolwiek z nich osiągnie 2,0%. W prądach powietrza odprowadzanego ze ściany eksploatacyjnej wzdłuż zrobów i wzdłuż calizny stężenie metanu nie powinno przekraczać 2,0%.

Australia

Złoże węgla w Australii charakteryzują się zróżnicowaną metanonośnością. Pokłady węgla, w których zawartość metanu równa się $9 \text{ m}^3/\text{Mg}$ lub więcej są uznawane za „bardzo gazowe”. Zawartość metanu w złożach węgla może nawet dochodzić do $25 \text{ m}^3/\text{Mg}$. Przed rozpoczęciem eksploatacji niezbędne jest metodami odmetanowania obniżenie metanonośności pokładu węgla.

W tabeli przedstawiono możliwe problemy związane z udostępnieniem i eksploatacją w zależności od metanonośności w pokładzie węgla.

Zakres	Zawartość metanu w pokładzie, m ³ /Mg csw
Problemy z udostępnieniem pokładu do eksploatacji	> 6,0
Problemy z eksploatacją	> 3,0
Możliwość zagrożenia wyrzutami gazów i skał	7,0 – 9,0

W warunkach australijskich, w przepisach podano zasady rozpoznawania i zwalczania zagrożenia metanowego. Uwzględnia się zasady stosowania maszyn, urządzeń i instalacji w warunkach zagrożenia. Przepisy podają również obowiązki i sposób postępowania w razie wystąpienia zagrożenia metanowego. Podane w przepisach dopuszczalne stężenia stanowią wymóg, który należy osiągnąć za pomocą środków wentylacyjnych i technicznych. Obowiązują odrębne przepisy górnicze dla kopalń w prowincji Queensland i dla kopalń w prowincji New South Wales (NSW).

Kopalnie w prowincji Queensland

System wentylacji kopalń musi zapewnić między innymi stężenie metanu w powietrzu kopalnianym nie większe niż 2,5%. W systemie wentylacji dopuszcza się możliwość wzrostu stężenia metanu powyżej 2,5%, jeżeli stężenie to trwa krótkotrwale a system wentylacji jest w stanie szybko obniżyć to stężenie poniżej 2,5%. Stężenie metanu w prądzie powietrza doprowadzanego do strefy zagrożenia wybuchem wynosi 0,5% obj. Wyróżnia się trzy strefy zagrożenia wybuchem:

Strefa wydzielona (niezagrożona) – stężenie metanu nie może przekroczyć 0,25%, można stosować urządzenia elektryczne bez zabezpieczenia przeciwybuchowego. Można stosować urządzenia dopuszczone do pracy pod ziemią, przeciwybuchowe lub ze stopniem zabezpieczenia co najmniej IP55 lub AS 1939.

Strefa 1 - występuje jeżeli w wyrobisku występuje lub może wystąpić stężenie metanu w granicach $0,5 \div 2\%$. Można stosować urządzenia elektryczne dopuszczone do pracy pod ziemią z zabezpieczeniem przeciwybuchowym.

Strefa 0 - występuje w wyrobiskach, gdzie w powietrzu jest więcej metanu i może dojść do przekroczenia 2% stężenia metanu. Strefa 1 przechodzi w strefę 0 jeżeli stężenie metanu w powietrzu przekroczy 2%. W strefie tej można stosować dopuszczone do pracy pod ziemią urządzenia przeciwybuchowe z zabezpieczeniem Ex ia, Ex s lub Ex I.

Strumień powietrza doprowadzanego do przodków chodnikowych musi zapewnić rozrzedzenie metanu poniżej 2% w czole przodka i poniżej 1,25% na wylocie z wentylatorów lutniowych przy wentylacji ssącej.

Prędkość średnia z przekroju poprzecznego powinna wynosić co najmniej 0,3 m/s w miejscach pracy w strefie 1 oraz na wlocie miejsc pracy przy przodkach (eksploatacyjnych lub chodnikowych) w okresie bez urabiania.

Stężenie metanu musi być kontrolowane na wylocie z rejonu eksploatacyjnego, z rejonu starych, nieizolowanych zrobów lub starych wyrobisk, w powietrzu przepływającym przez wentylator głównego przewietrzania, na wylocie z każdego wyrobiska, w którym odbywa się odstawa urobku, innych miejscach określonych w planie zabezpieczenia metanowego kopalni. System monitoringu gazowego musi posiadać niezależne zasilanie na wypadek wyłączenia zasilania elektrycznego w rejonie.

Co najmniej jeden metanomierz musi być zlokalizowany w prądzie powietrza doprowadzanego przed strefą 1 (przed wlotem powietrza do strefy 1) lub pomiędzy dwoma strefami wydzielonymi. W przypadku przekroczenia stężenia metanu 0,25% detektor musi generować widoczny alarm. W przypadku przekroczenia stężenia metanu 0,5% detektor wyłącza zasilanie wszystkich urządzeń zarówno w strefie wydzielonej jak i w strefie 1.

Czujnik metanu zabudowuje się w prądzie powietrza odprowadzanego ze ściany jak i z rejonu wentylacyjnego. Czujniki na wlocie i wylocie ze ściany są czujnikami wyłączającymi o progu działania 2%. Czujniki na wylocie z rejonu lub w głównych prądach powietrza odprowadzanego ustalone są w planie zabezpieczenia metanometrycznego kopalni.

Kombajn chodnikowy musi być wyposażony co najmniej w jeden czujnik metanu o progu alarmującym 1% i wyłączającym napięcie przy stężeniu 2%.

Czujniki o podobnym zakresie stosuje się przy innych maszynach i urządzeniach o zasilaniu elektrycznym.

Kombajn ścianowy musi być wyposażony w co najmniej jeden czujnik metanu o progu alarmującym 1% i wyłączającym zasilanie kombajnu przy 1,25% oraz wyłączającym napięcie pozostałych maszyn i urządzeń przy stężeniu powyżej 2%.

Pojazdy o zasilaniu akumulatorowym lub z silnikami spalinowymi również są wyposażone w czujniki stężenia metanu z progiem alarmowym 1% i wyłączającym zasilanie lub silnik w przypadku przekroczenia stężenia 1,25%. Przy stężeniu powyżej 1% operator pojazdu musi wycofać pojazd do prądu powietrza o stężeniu poniżej 1%. Pojazdy przystosowane do stref wydzielonych (niezagrożonych) posiadają również czujniki stężenia metanu o progu alarmowym 0,25% i wyłączającym zasilanie lub silnik przy stężeniu powyżej 0,5%.

Stężenie metanu w powietrzu przepływającym przez wentylator główny lub pomocniczy podziemny nie może przekroczyć wartości dopuszczalnych. Wentylator główny lub podziemny musi być monitorowany, a detektor stężenia metanu wyposażony w wyświetlacz oraz sygnalizację świetlną przekroczenia dopuszczalnego stężenia metanu. Dopuszczalne stężenie metanu w powietrzu przepływającym przez wspomagające wentylatory podziemne wynosi 1,25%.

Kopalnie w prowincji New South Wales (NSW)

W kopalniach (NSW) określa się strefę zagrożenia metanowego. Strefa zagrożenia metanowego obejmuje wszystkie drogi z powietrzem odprowadzanym oraz drogi doprowadzające powietrze w odległości do 100 m przed frontem ściany. Strefa może być powiększona jeżeli co najmniej dwa metanomierze zabudowane w wyrobisku będą wskazywały stężenie metanu powyżej 0,25% przez co najmniej dwa dni.

Wentylacja musi zapewnić stężenie metanu w prądzie powietrza doprowadzanego nie więcej niż 0,25%, a w strefie zagrożenia nie więcej niż 2%.

Podczas prowadzenia robót przygotowawczych dopuszczalne stężenie metanu w prądzie powietrza doprowadzanego do rejonów eksploatacyjnych (na wlocie do strefy zagrożenia wybuchem) wynosi 0,5%.

Strumień powietrza doprowadzanego do przodków chodnikowych musi zapewnić rozrzedzenie metanu poniżej 2% w czole przodka i nie więcej niż 1,25% metanu na wylocie z wentylatorów lutniowych przy wentylacji ssącej.

Również w prądach powietrza doprowadzanego do rejonów eksploatacyjnych dopuszczalna koncentracja metanu wynosi 0,25% w kopalniach NSW). W wyrobiskach zaliczonych do stref zagrożenia wybuchem metanu dopuszczalne stężenie metanu wynosi 1%. W przodkach chodnikowych i ścianowych dopuszczalne stężenie metanu wynosi 2%. W miejscach zabudowy urządzeń elektrycznych w obudowie iskrobezpiecznej stężenie nie może przekroczyć 2%.

W systemie zabezpieczenia metanometrycznego należy stosować czujniki alarmujące z widzialnym alarmem oraz czujniki wyłączające zasilanie maszyn i urządzeń elektrycznych. Nad kombajnem chodnikowym buduje się metanomierz alarmujący o progu 1% i wyłączający zasilanie maszyny

w przodku jeżeli stężenie osiągnie 2% w trybie pracy maszyny. Przy kombajnach ścianowych stosuje się metanomierze wyłączające kombajn przy osiągnięciu 1,25%.

Maszyny z silnikami diesla stosowane w prądach powietrza odprowadzanego muszą być wyposażone w metanomierz alarmujący, jeżeli stężenie metanu osiągnie lub przekroczy 1%.

W kopalniach w prowincji NSW minimalna prędkość przepływu powietrza wynosząca 1m/s jest określana w wyrobiskach z przenośnikami taśmowymi. W wyrobiskach z kombajnami prędkość powietrza musi wynosić co najmniej 0,3 m/s w przekroju poprzecznym wyrobiska. Dodatkowo w kopalniach NSW należy tak projektować wentylację, aby do ścian eksploatacyjnych doprowadzać co najmniej 4,0 m³/s powietrza na 1 m wysokości ściany i co najmniej 0,3 m³/s na 1 m² przekroju poprzecznego przodka chodnikowego podczas jego drażenia.

W przypadku stosowania maszyn samojezdnych z silnika diesla należy dostarczyć 0,06 m³/s na 1kW mocy silnika lub 3,5 m³/s powietrza.

Rosja i Ukraina

Ocena stanu zagrożenia metanowego jest uzależniona od wielkości metanowości względnej; kopalnie eksploatujące węgiel kamienny są podzielone na pięć kategorii:

Podział kopalń na kategorie ze względu na metan	Względna metanowość, m ³ /Mg
I	do 5
II	od 5 do 10
III	od 10 do 15

Ponad kategoria	15 lub więcej, wypływy gazów
Niebezpieczne ze względu na wyrzuty	Pokłady z niebezpieczeństwem wyrzutów gazów i skał

Natomiast ocena zagrożenia metanowego dla kopalń rud odbywa się w ten sposób, że stosuje się cztery kategorie:

Podział kopalń na kategorie ze względu na metan	Wydzielanie gazów (metan + wodór) w czasie doby w odniesieniu do średniego wydobycia 1 m ³ rudy
I	do 7
II	od 7 do 14
III	od 14 do 21
Ponad kategoria	ponad 21 lub więcej, wypływy gazów

Zarówno w Rosji jak i na Ukrainie roboty górnicze w wyrobiskach ścianowych można prowadzić przy zawartości metanu do 1 %. Przepisy szczegółowo określają prace jakie należy podejmować przy przekroczeniu zawartości metanu powyżej 1%. Zawartość metanu w atmosferze podziemnych wyrobiskach i rurociągach muszą być zgodne z normami podanymi w tabeli. Przy obliczaniu maksymalnego dopuszczalnego stężenia metanu wentylacji przyjmuje się stężenie metanu równe 1%, niezależnie od zastosowanego sposobu pomiaru.

Strumień powietrza w wyrobisku, lutniociagu	Niedopuszczalne stężenie metanu, % obj.
Wylot z wyrobiska drążonego, komory, zajezdni	Powyżej 1
Wylot ze ściany bez urządzeń AKM	Powyżej 1
Wylot ze ściany z urządzeniami AKM	Powyżej 1,3
W szybie wydechowym	Powyżej 0,75
Wlot do wyrobiska ścianowego i drążonego, komory, zajezdni	Powyżej 0,5
Miejscowe nagromadzenie metanu eksploatacyjnych i drążonych wyrobiskach	2 i więcej
Wylot z komory mieszania	2 i więcej
Rurociągi do odprowadzania metanu ze stacji iniektorów	Powyżej 3,5
Rurociągi odmetanowania	Od 3,5 do 25

Czujniki stężenia metanu powinny być rozmieszczone na początku i na końcu wyrobiska ścianowego. Natomiast w drążonym wyrobisku powinny się znajdować w przodku wyrobiska i być zawieszone na wysokości 1,6 m. Dodatkowy czujnik powinien znajdować się w odległości 2,0 m przed wentylatorem.

W wielu krajach roboty górnicze w wyrobiskach ścianowych można prowadzić przy zawartości metanu 1,0% ÷ 2,0%. Jeśli zawartość metanu przekracza tą wartość urabianie kombajnem musi być wstrzymane. Przepisy szczegółowo określają prace jakie należy podejmować przy przekroczeniu zawartości metanu powyżej tej zawartości.

Ocena stanu zagrożenia metanowego wynikająca z obowiązujących aktów prawnych

W polskich kopalniach węgla kamiennego ocena stanu zagrożenia metanowego jest prowadzona w oparciu o 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 (stan prawny na dzień 14.08.2010 r.).

W polskich warunkach przepisy odnoszą się do utrzymania dopuszczalnego stężenia metanu w powietrzu kopalnianym. W przepisach określono jak i gdzie prowadzi się kontrolę zawartości metanu w powietrzu kopalnianym. Pomimo, że stosuje się kontrolę zawartości metanu w powietrzu określono zabezpieczenia urządzeń elektrycznych za pomocą urządzeń metanometrii automatycznej.

W oparciu o zamieszczone zasady wykonywania pomiarów przy zagrożeniu metanowym przedstawiono przykłady wykonywanych pomiarów w wyrobiskach górniczych przewietrzanych wentylacją lutniową oraz w wyrobiskach ścianowych.

Systemy monitoringu sieci wentylacyjnej i kontroli zagrożenia metanowego

Wyrobiska przewietrzane przy pomocy wentylacji lutniowej

Jeżeli zawartości metanu w świetle przekroju wyrobiska przekracza 0,5% lub występuje przystropowe nagromadzenie metanu w odległości do 50 m od czoła przodka nie należy prowadzić drążenia wyrobiska kombajnem. Wyłączenie wentylatora lutniowego powoduje wyłączenie wszystkich urządzeń elektrycznych w przodku (z wyjątkiem urządzeń iskrobezpiecznych). Dla zwalczania zagrożenia metanowego należy stosować pomocnicze urządzenia wentylacyjne w postaci strumienic powietrza, cyklonów, wentylatorów powietrznych, lutni perforowanych, lutni wirowych z nawiewem z płótna wentylacyjnego. W przypadku metanowości przekraczającej możliwość rozrzedzenia metanu powietrzem doprowadzonym do wyrobiska należy stosować odmetanowanie.

W polach metanowych urządzenia elektryczne w wyrobisku ślepych muszą być zabezpieczone czujnikami metanometrii automatycznej, wyłączającej te urządzenia spod napięcia w czasie nie

dłuższym niż 15 sekund, po przekroczeniu dopuszczalnej zawartości metanu. Szczegółowe zasady zabudowy czujników metanometrycznych określone są w dokumentacji zabezpieczeń telemetrycznych drażonego wyrobiska ślepego.

W drażonych wyrobiskach o długości powyżej 15 m zabudowuje się metanomierze wyłączająco-rejestrujące, kontrolujące zawartość metanu pod stropem wyrobiska:

- przy przewietrzaniu przodka lutniociągiem tłoczącym — w odległości nie większej niż 10 m od czoła przodka, w miejscu stwierdzanych największych zawartości metanu,
- przy przewietrzaniu przodka lutniociągiem ssącym między wlotem do lutni ssącej a czołem przodka - w odległości nie większej niż 6 m od czoła przodka.

Na wlocie drażonych wyrobisk o długości ponad 25 m zabudowuje się pod stropem metanomierz wyłączająco-rejestrujący w odległości od 10 m do 15 m od skrzyżowania z wyrobiskiem przewietrzanym opływowym prądem powietrza.

Czujniki mają na celu wyłączenie kombajnu chodnikowego przy przekroczeniu zawartości 1% metanu w powietrzu. Najczęściej wykorzystuje się czujniki typu CM-5. Dodatkowo w polach II—IV kategorii zagrożenia metanowego należy stosować dodatkowe metanomierze o pomiarze ciągłym, zabudowane na wysięgniku organu urabiającego, które mają wyłączać pracę organu przy przekroczeniu zawartości 2% metanu.

Pozostałe maszyny i urządzenia z napędem elektrycznym wyłączane są przez czujniki przy przekroczeniu zawartości 2% metanu w powietrzu jeżeli stosuje się system wentylacji z zasadniczym lutniociągiem tłoczącym. Jeżeli stosuje się wentylację z zasadniczym lutniociągiem ssącym czujniki metanomierzy wyłączają urządzenia elektryczne przy przekroczeniu zawartości 1% metanu w powietrzu.

W wyrobiskach z wentylacją lutniową kombinowaną, z zastosowaniem instalacji odpylającej, dodatkowo zabudowuje się metanomierze w strumieniu powietrza wypływającego z instalacji odpylającej i pod stropem wyrobiska, w strefie zazębienia lutniociągów. Czujniki tych metanomierzy mają na celu wyłączenie urządzeń elektrycznych w wyrobisku, przy przekroczeniu 1% zawartości metanu w powietrzu.

W wyrobiskach drażonych w polach w polach metanowych II—IV kategorii zagrożenia metanowego i w pokładach zaliczonych do II stopnia zagrożenia tapaniami stosuje się systemy zabezpieczeń metanometrycznych, umożliwiające pomiar i rejestrację zawartości metanu oraz wyłączenie urządzeń elektrycznych w czasie nie dłuższym niż 60 sekund. W przypadku zaliczenia pokładów do III stopnia zagrożenia tapaniami system metanometrii automatycznej zapewnić musi wyłączenie urządzeń elektrycznych w czasie nie dłuższym niż 15 sekund. Dla nowo budowanych central metanometrii automatycznej wymaga się już zawsze czasu wyłączenia urządzeń elektrycznych nie dłuższego niż 15 sekund.

W wyrobiskach, w pokładach zagrożonych wyrzutami gazów i skał stosuje się automatyczny pomiar zawartości metanu lub dwutlenku węgla, połączony z automatyczną sygnalizacją alarmową.

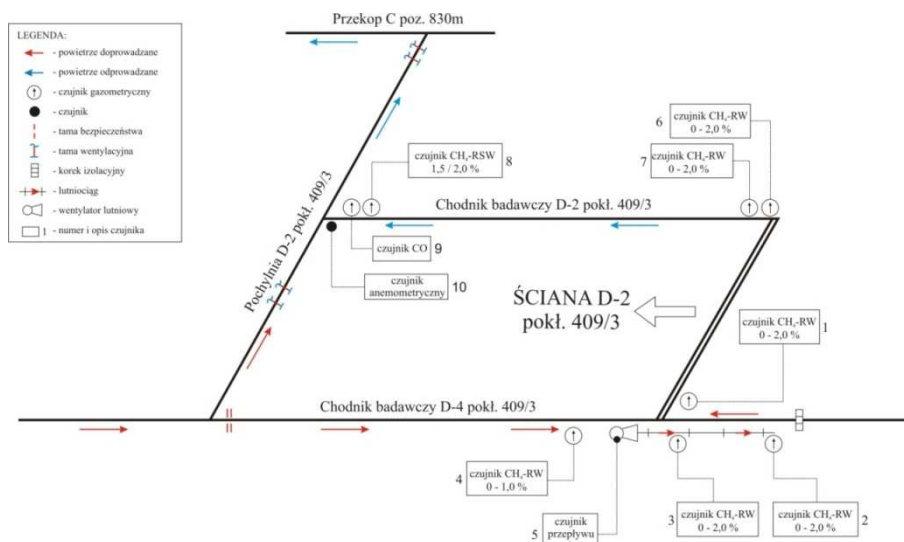
Prawidłowość działania czujników metanometrii automatycznej kontroluje się za pomocą mieszanek wzorcowych, o stężeniu metanu większym o 0,2% od ustalonego progu zadziałania czujnika.

Zgodnie z obowiązującymi przepisami górniczymi należy również prowadzić pomiar stężenia metanu przy użyciu metanomierzy przenośnych o budowie przeciwybuchowej. Obowiązek ten spoczywa na przodowych w drażonym wyrobisku oraz na metaniarzach działu wentylacji. Przepisy szczegółowo określają kontrole stężenia metanu.

Zastosowanie dodatkowych urządzeń wentylacji pomocniczej należy stosować w przypadku wzrostu zagrożenia metanowego, tj. podczas nagłej zwiększonej emisji metanu, znacznie powyżej prognozowanej metanowości. Urządzenia te mają na celu likwidację przystropowych nagromadzeń metanu. W takich przypadkach stosuje się strumienice, cyklon, rurę perforowaną zasilaną z rurociągu sprężonego powietrza lub wentylator powietrzny, np. typu WLP-402 z odcinkiem lutni elastycznej. Nadmuchy powietrza muszą być skierowane na miejsce wydzielania metanu.

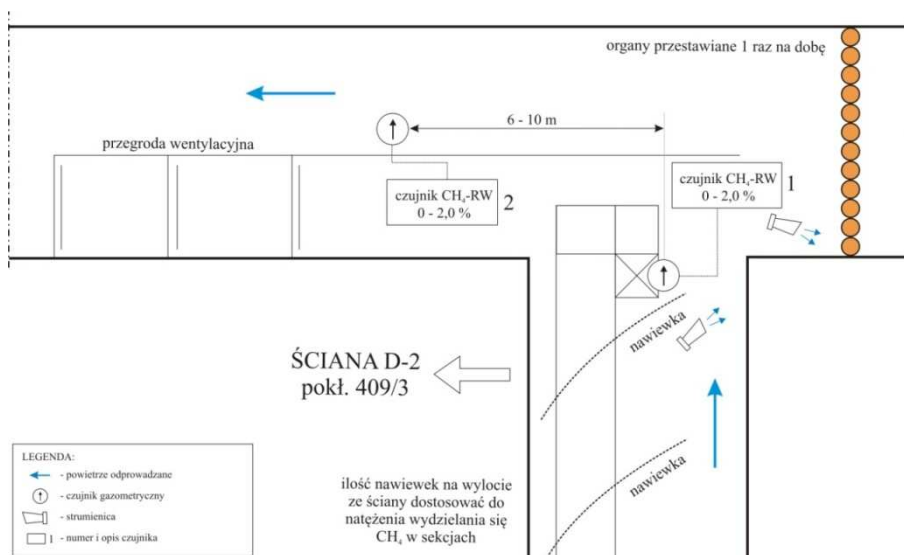
Wyrobiska ścianowe przewietrzane systemami U i Y

Na wielkość wydzielania metanu do wyrobisk mają wpływ czynniki związane z budową geologiczną jak i samym udostępnieniem i rozcięciem pokładu oraz systemem wentylacji. Na poniższym rysunku pokazano schemat przestrzenny przewietrzania ściany oraz lokalizację czujników w rejonie ściany.

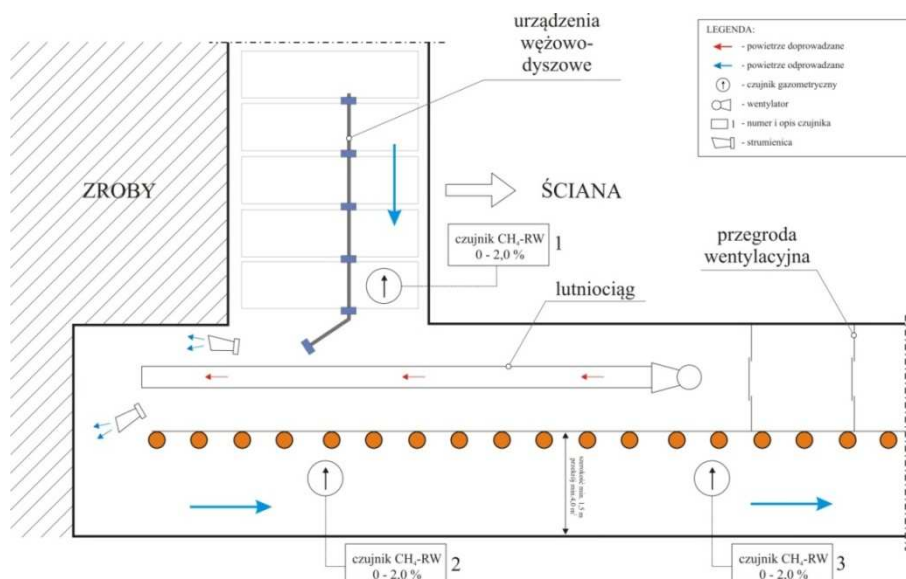


Schemat przewietrzania ściany D-2 w pokł. 409/1 oraz rozmieszczenia czujników pomiarowych

W celu niedopuszczenia do powstawania nagromadzeń niebezpiecznych stężeń metanu na skrzyżowaniach ścian z chodnikami przyścianowymi stosuje się układy pomocniczych urządzeń wentylacyjnych. Przykładowe zabudowanie urządzeń pomocniczych pokazano na poniższych rysunkach.



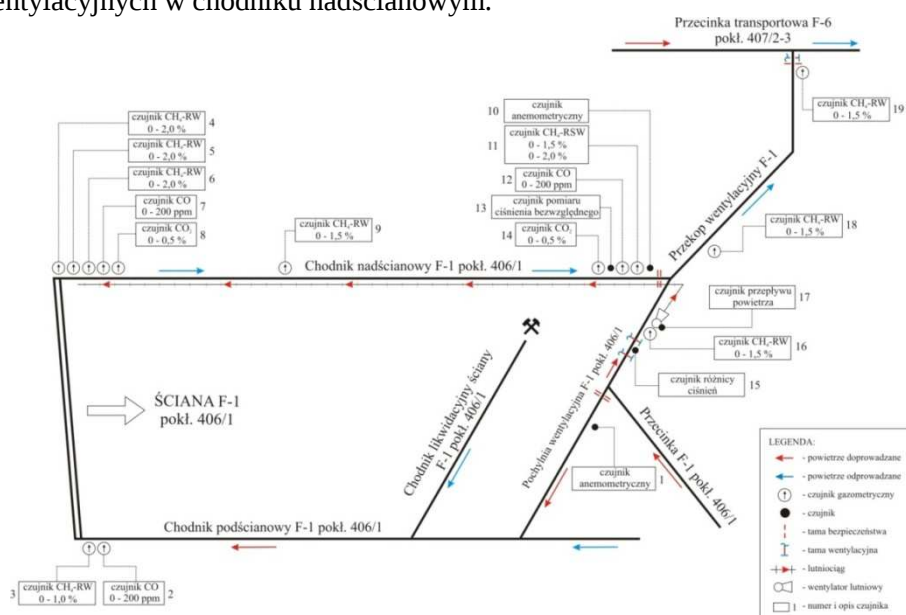
Schemat rozmieszczenia pomocniczych urządzeń wentylacyjnych



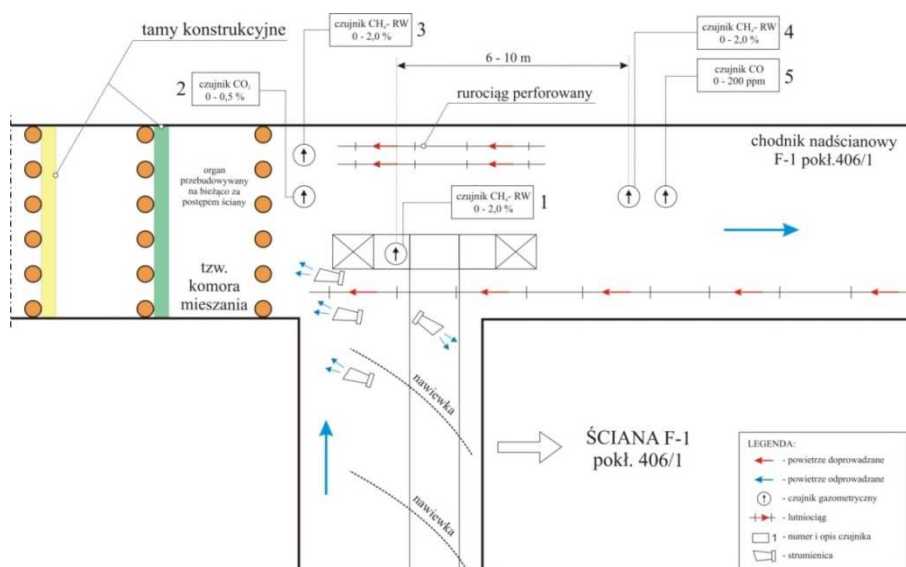
Schemat rozmieszczenia pomocniczych urządzeń wentylacyjnych

Przegrody wentylacyjne mają na celu skierowanie części powietrza o niskim stężeniu metanu płynącego w wyrobisku ścianowym w kierunku zrobów, celem wymieszania go z powietrzem o dużym stężeniu metanu wpływającym ze zrobów. Są to najczęściej stosowane pomocnicze urządzenia wentylacyjne, lecz ich skuteczność działania jest niewielka, gdyż przy małej prędkości powietrza wzdłuż przegrody oraz przy dużym wydatku metanu ze zrobów ściany, długość drogi mieszania jest bardzo duża. Dlatego jej skuteczne działania jest wtedy, gdy powietrze wpływające ze zrobów ściany zawiera mniejsze ilości metanu lub w przypadku równoczesnego stosowania jej z innymi dynamicznymi pomocniczymi urządzeniami wentylacyjnymi takimi jak strumienice powietrza lub wentylatory z krótkim lutniociągiem. Przy eksploatacji pokładów cienkich, znaczna część powietrza będzie przepływała przy spagu wyrobiska, natomiast powietrze ze zrobów ściany przy stropie wyrobiska. Wymieszanie powietrza nastąpi w przypadku zastosowania strumienic powietrza, które wytworzą większe zawirowanie powietrza.

Innym przykładem rozmieszczenia czujników metanometrycznych i telemetrycznych w systemie przewietrzania U jest rejon ściany F-1 w pokładzie 406/1. Na poniższym rysunku przedstawiono schemat lokalizacji czujników zabezpieczających w rejonie ściany F-1 pokład 406/1, a na kolejnym rysunku schemat lokalizacji czujników metanometrii automatycznej i rozmieszczenia pomocniczych urządzeń wentylacyjnych w chodniku nadścianowym.



Schemat lokalizacji czujników zabezpieczających w rejonie ściany F-1 pokład 406/1



Schemat lokalizacji czujników metanometrii automatycznej i rozmieszczenia pomocniczych urządzeń wentylacyjnych

Podsumowanie

Z przeprowadzonych rozważań wynika, że decydujący wpływ na wybór systemu przewietrzania posiadają w następującej kolejności: względy ruchowe, sposób rozcięcia złoża i dopiero zagrożenia naturalne.

W warunkach polskich kopalń w zdecydowanej większości stosowany jest system przewietrzania U od granic pola eksploatacyjnego, co wynika z ograniczonych robót przygotowawczych, możliwości rozpoznania pokładu w polu wybierania ściany, ograniczenia wpływu na eksploatację przestrzeni wyeksploatowanej. Dobór systemu przewietrzania jest dokonywany w oparciu o zagrożenie najmniej rozpoznane, a w dalszej kolejności o zagrożenie o większej skali spośród zagrożenia metanowego i pożarowego.

Dla miejsc o największym zagrożeniu metanowym i pożarowym możliwe jest zaprojektowanie systemu monitoringu zgodnego z obowiązującymi przepisami i zarazem obrazującego faktyczny stan zagrożenia metanowego przy wykorzystaniu różnych metod umożliwiających określenie rozkładu stężenia metanu i rozprzysięgu powietrza w zrobach.

W etapie tym przedstawiono analizę obowiązujących przepisów prawnych decydujących o systemie monitoringu. W analizie uwzględniono również stan prawny obowiązujący w wybranych krajach z rozwiniętym przemysłem górniczym. Ocena monitoringu zagrożenia metanowego i pożarowego została poparta przykładami projektów monitoringu zagrożenia metanowego i pożarowego w wyrobiskach ścianowych przewietrzanych systemem U i Y. Analiza zamieszczonych przykładów wskazuje, że rozmieszczenie czujników metanometrycznych w rejonie prowadzonych robót górniczych musi uwzględniać miejsca najbardziej zagrożone wydzielaniem metanu.

W polskich kopalniach węgla kamiennego ocena stanu zagrożenia metanowego jest prowadzona w oparciu o **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.**

W wyrobiskach drążonych w polach metanowych II—IV kategorii zagrożenia metanowego i w pokładach zaliczonych do II stopnia zagrożenia tapaniami stosuje się systemy zabezpieczeń metanometrycznych, umożliwiające pomiar i rejestrację zawartości metanu oraz wyłączenie urządzeń elektrycznych w czasie nie dłuższym niż 60 sekund. W przypadku zaliczenia pokładów do III stopnia zagrożenia tapaniami, system metanometrii automatycznej zapewnić musi wyłączenie urządzeń elektrycznych w czasie nie dłuższym niż 15 sekund. Dla nowo budowanych central metanometrii automatycznej wymaga się już zawsze czasu wyłączenia urządzeń elektrycznych nie dłuższego niż 15 sekund.

W celu niedopuszczenia do powstawania nagromadzeń niebezpiecznych stężeń metanu na skrzyżowaniach ścian z chodnikami przyścianowymi stosuje się układy pomocniczych urządzeń wentylacyjnych. Przegrody wentylacyjne mają na celu skierowanie części powietrza o niskim stężeniu

metanu płynącego w wyrobisku ścianowym w kierunku zrobów, celem wymieszania go z powietrzem o dużym stężeniu metanu wypływającym ze zrobów. Są to najczęściej stosowane pomocnicze urządzenia wentylacyjne, lecz ich skuteczność działania jest niewielka, gdyż przy małej prędkości powietrza wzdłuż przegrody oraz przy dużym strumieniu objętościowym metanu ze zrobów ściany, długość drogi mieszania jest bardzo długa.

Działania profilaktyczne w zakresie zagrożenia metanowego powinny się skupiać na:

- utrzymywaniu maksymalnego postępu ściany dostosowanego do wydzielania metanu, zagrożenia tapaniami i warunków górniczo – geologicznych ruchu ściany,
- likwidacja chodników przyścianowych winna być prowadzona na bieżąco w odległości minimum 3 m za przenośnikiem.
- rejon musi być zabezpieczony czujnikami metanowymi wyłączającymi – rejestrującymi w systemie metanometrii automatycznej.

Przeprowadzona analiza wykazuje, że stan zabezpieczeń metanometrycznych odzwierciedla stan rzeczywistego zagrożenia metanowego w wyrobiskach górniczych. Na poziom zagrożenia metanowego bezpośredni wpływ ma rzeczywiste wydzielanie metanu (strumienia objętości metanu) do rejonu prowadzonej eksploatacji ściany.

Etap nr 5

Sformułowanie warunków i kryteriów pobierania prób powietrza ze zrobów ściany i przestrzeni otamowanych wraz z analizą i interpretacją wyników oraz oceną wpływu działań profilaktycznych (uszczelnianie zawału, inertyzacji i konsolidacji zrobów, odmetanowania) dla bieżącej oceny stanu zagrożenia metanowego w rejonach wentylacyjnych

Cel etapu i metoda badawcza

Celem niniejszego etapu badań jest określenie warunków i zakresów stosowania metody oceny zagrożenia metanowego w zrobach czynnych ścian jak i w przestrzeniach otamowanych. W tym celu niezbędne jest rozpatrzenie wpływu uszczelniania zrobów, inertyzacji i odmetanowania na stan zagrożenia metanowego. Dla rozpatrzenia wpływu inertyzacji zrobów zostaną wykorzystane wnioski wynikające z rozważań przeprowadzonych w etapie 2. Sformułowanie warunków pobierania prób powietrza ze zrobów wymaga znajomości zjawisk zachodzących w tych zrobach. Prowadzone obliczenia rozprężu powietrza w zrobach przy stosowaniu inertyzacji wskazują, że próby winny być pobierane w miejscach gdzie stężenia metanu i gazów pochodzących z procesów utleniania są największe.

Wyniki badań

Ocenę stosowanej profilaktyki pożarowej można dokonać na podstawie sposobu przewietrzania ścian. Rozprowadzenie powietrza w rejonie projektowanej ściany podczas eksploatacji pokładu ma istotne znaczenie z punktu widzenia zagrożenia pożarowego. Przewietrzanie ściany systemem U jest najkorzystniejsze z uwagi na zagrożenie pożarowe jednak w przypadku słabej konsolidacji skał stropowych w zrobach ściany i intensywnego przewietrzania ściany (z uwagi na zagrożenie metanowe) zachodzić będą dogodne warunki do migracji powietrza w zrobach i przy spełnieniu warunków do samozagrzewania węgla pozostawionego w zrobach następuje rozwój ogniska pożarowego, który może prowadzić do pożaru endogenicznego. Działania profilaktyki pożarowej polegające na podawaniu substancji uszczelniających do zrobów powodują ograniczenie procesów utleniania i obniżenie poziomu zagrożenia pożarowego.

Sposoby zwalczania zagrożenia pożarowego i metanowego

Zagrożenie metanowe wraz z zagrożeniem pożarowym stanowią klasyczny przykład współwystępowania zagrożeń naturalnych, silnie ze sobą skorelowanych. Już na etapie projektowania układu przewietrzania ścian należy rozważyć, czy w rozpatrywanej sytuacji górniczej, korzystniejszy jest zmniejszenie zagrożenia pożarem endogenicznym w skutek samozagrzewania się węgla pozostawionego w zrobach, kosztem wzrostu zagrożenia metanowego (układ przewietrzania ścian „U” po caliznie węglowej), czy też sytuacja analogicznie przeciwna (układ przewietrzania ścian „Y”

z odprowadzeniem powietrza zużytego wzdłuż zrobów). Występowanie metanu (w obecnych warunkach górniczych podstawowej kopaliny towarzyszącej złożom węgla) jest także nierozdzielnie związane z obecnością zagrożenia wyrzutami metanu i skał oraz zagrożeniem wybuchu pyłu węglowego (inicjał zapłonu).

Jedną z metod prewencji są działania inertyzacyjne atmosfery kopalnianej. Działania te polegają na częściowym lub całkowitym zastępowaniu powietrza lub palnej atmosfery przez obojętny gaz. Dzięki temu zmniejsza się zagrożenie powstawania ognisk pożarów endogenicznych, jak również ewentualnych wybuchów gazów.

Najważniejszym celem stosowania gazów inertnych jest obniżenie zawartości tlenu do granicy uniemożliwiającej dalszy rozwój pożaru. Z tego względu jednym z najważniejszych parametrów instalacji do wytwarzania gazów inertnych jest wydajność, czyli strumień objętości gazu możliwy do wygenerowania w jednostce czasu.

Ze względu na szereg zalet największe zastosowanie w górnictwie światowym przy zwalczaniu pożarów podziemnych oraz przy profilaktyce pożarowej znalazł azot.

Przepuszczalność zrobów ścian zawałowych przy eksploatacji na zawał skał stropowych

W rezultacie przemieszczenia skał, jakie następuje po przejściu frontu eksploatacyjnego ściany i linii zawału powstaje gruzowisko i strefa spękań. Rozpatrywanie zjawisk zachodzących w zrobach ścian zawałowych wymaga znajomości współczynnika filtracji. Przestrzeń zawałowa ściany wypełniona jest skałami stropowymi, tworzącymi ziarna o różnej granulacji. Bardzo luźne ułożenie ziaren w strefie przyprzodkowej uszczelnia się w miarę zwiększenia odległości od frontu ściany. Drobne elementy skały wypełniają pustki między większymi, większe zaś nierównomiernie podparte i poddane naprężeniom górotworu kruszą się, wypełniając coraz szczelniej wolne przestrzenie.

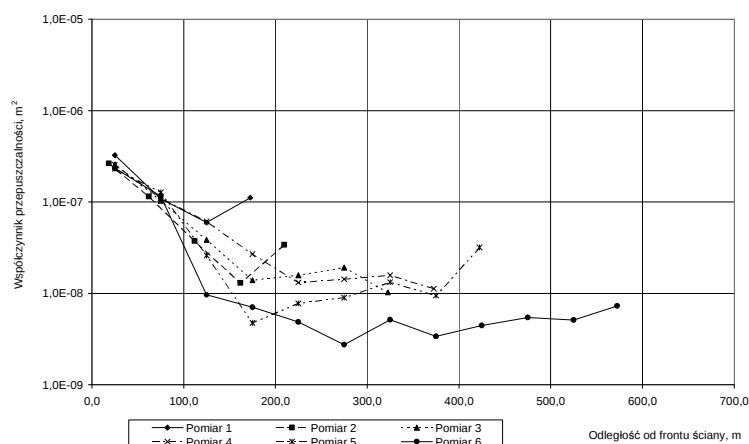
Badania prowadzone w kopalniach wykazały, że przy systemie przewietrzania ścian U – do granic już w odległości powyżej 25 m od przodka ścianowego odbywa się w zrobach przepływ zbliżony do laminarnego. Wykładnik potęgowy charakteryzujący ten przepływ waha się od tu od 0,68 do 1,19. Natomiast na odcinku do 25 m od ściany ma miejsce przepływ o charakterze przejściowym, a wykładnik potęgowy wynosi 1,7 do 2,0. Przejście z przepływu turbulentnego do laminarnego odbywa się w sposób ciągły.

Przedmiotem badań były wyłącznie ściany zawałowe podłużne przewietrzane systemem „U – do granic”. Wyniki pomiarów przeanalizowano pod kątem stwierdzenia związku między wartością strat powietrza a rodzajem skał stropowych. Stwierdzono, że w tych samych warunkach wentylacyjnych straty powietrza są tym większe, im bardziej zwarte są skały stropowe. Do dalszych badań wytypowano sześć ścian, których skały stropowe zaliczone są do skał słabych, średniozwięzłych i zwięzłych. Na rysunkach poniższych zamieszczono graficzny obraz zmian współczynnika przepuszczalności zrobów w funkcji odległości od frontu wyrobiska ścianowego dla dwóch wybranych ścian.

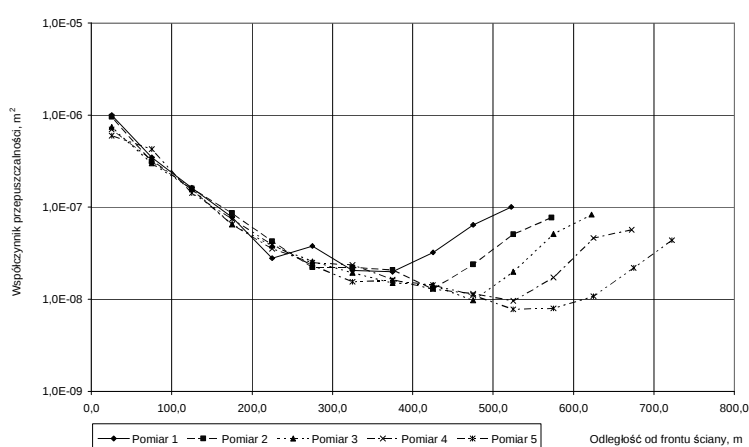
Za podstawę analizy przepuszczalności zrobów przyjęto opór rozwarstwienia skał stropowych tworzących zawał. Opór rozwarstwienia jest wytrzymałością skał na rozciąganie mierzoną w kierunku prostopadłym do powierzchni uwarstwienia. Z kolei wytrzymałość skał na rozciąganie decyduje o jej przydatności do przechodzenia w stan zawału.

Opór rozwarstwienia poszczególnych warstw skalnych można obliczyć na podstawie wielkości uzyskanych w wyniku stosowania hydraulicznego penetrometru otworowego. Zawały tworzone przez stropy o różnym oporze rozwarstwienia stwarzają różne warunki dla przepływającego przez nie powietrza. Analizując otrzymane wyniki pomiarów (przedstawione na rysunkach) widać, że w miarę wzrostu oporu rozwarstwienia skał wzrasta również współczynnik przepuszczalności zrobów i zwiększa się wielkość ucieczek powietrza przez zrob. Wypadkowe wartości oporu rozwarstwienia skał stropowych uzależnione są od rodzaju warstwy skalnej i jej miąższości. Z przeprowadzonych badań wynika, że najczęściej spotykane skały stropowe charakteryzują się następującymi oporami rozwarstwienia:

- piaskowiec (drobno, średnio i gruboziarnisty) $(5,5-7,0)10^6 \text{ Nm}^{-2}$,
- łupek piaszczysty $(3,0-4,5)10^6 \text{ Nm}^{-2}$,
- łupek ilasty $(1,5-3,0)10^6 \text{ Nm}^{-2}$.



Zmiana wartości współczynnika przepuszczalności strefy zawalu w zależności od odległości od frontu ściany 465



Zmiana wartości współczynnika przepuszczalności strefy zawalu w zależności od odległości od frontu ściany 220

Analiza zmian współczynnika przepuszczalności zrobów

Z analizy pomiarów i obliczeń wynika, że współczynnik przepuszczalności zrobów maleje w miarę wzrostu odległości od ściany. Największą wartość współczynnika przepuszczalności przyjmuje w pobliżu frontu ściany, najmniejszą zaś w odległości około 2/3 jej wybiegu. Po przejściu minimum współczynnik przepuszczalności wzrasta aż do miejsca rozpoczęcia ściany. Wraz ze wzrostem wybiegu ściany współczynnik przepuszczalności w tym miejscu maleje, jednak zawsze jest znacznie większy od wartości minimalnej. Wraz ze wzrostem wybiegu ściany powiększa się również odcinek zrobów o małym współczynniku przepuszczalności.

Najmniejszymi wartościami współczynnika przepuszczalności charakteryzują się zrobry, dla których opór rozwarstwienia jest najmniejszy. W miarę wzrostu oporu rozwarstwienia skał stropowych współczynnik przepuszczalności zrobów wzrasta. Jest to widoczne na zamieszczonych rysunkach, które są wynikiem pomiarów prowadzonych przy różnych wielkościach oporu rozwarstwienia skał stropowych.

Z przeprowadzonych badań wynika, że współczynnik przepuszczalności zrobów zależy od odległości od frontu ściany i wielkości oporu rozwarstwienia skał stropowych (rodzaju skał stropowych). W miarę wzrostu odległości od frontu ściany następuje zmniejszenie współczynnika przepuszczalności zrobów.

Przeprowadzona analiza statystyczna wyników zmian wartości współczynnika przepuszczalności zrobów wykazuje, iż współczynnik ten najlepiej aproksymuje zależność na całej długości wyeksploatowanego wybiegu ściany. Dlatego też przyjęto, że współczynnik przepuszczalności zrobów będzie aproksymowany zależnością:

$$k(x) = \frac{\mu}{r_0 + ax^2}, m^2 \quad \text{dla } 0 \leq x \leq \frac{2}{3} \cdot l,$$

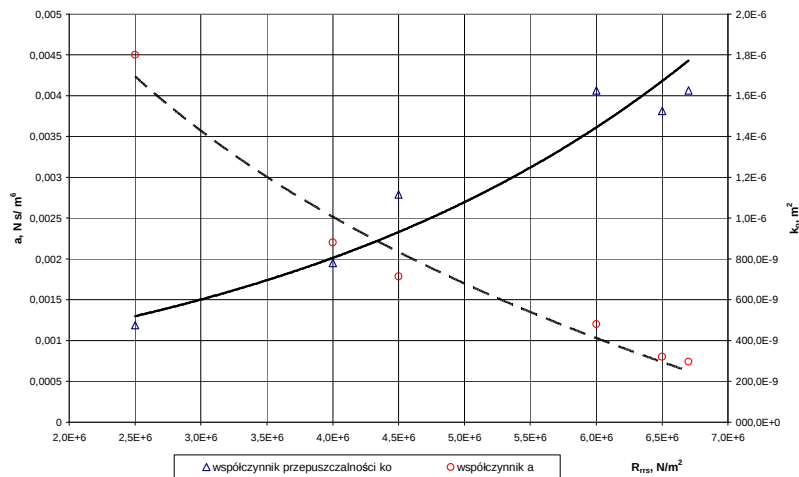
gdzie:

l - oznacza całkowity wybieg ściany, m

Natomiast dla wartości $x = \frac{2}{3}l$ uzyskuje się najmniejszą wartość współczynnika przepuszczalności zrobów. Po przejściu minimum współczynnik przepuszczalności aż do miejsca rozpoczęcia ściany rośnie. Na długości gdzie współczynnik przepuszczalności zrobów rośnie aproksymację przeprowadzono zależnością :

$$k(x) = \frac{\mu}{r_0 + a(\frac{4}{3}l - x)^2}, m^2 \quad \text{dla } \frac{2}{3}l \leq x \leq l$$

Natomiast wartość występujących współczynników r_0 , k_0 , a i b uzależniono od oporu rozwarstwienia skał stropowych zalegających nad wybranym pokładem. Na rysunku przedstawiono zależności zmian współczynników $k_0 = \frac{\mu}{r_0}$ i a od oporu rozwarstwienia skał stropowych.



Zależność zmian współczynnika k_0 i a od oporu rozwarstwienia skał stropowych

W miarę wzrostu oporu rozwarstwienia skał stropowych wartość współczynnika k_0 rośnie. Zmianę współczynnika przepuszczalności zawału za frontem ściany aproksymowano zależnością:

$$k_0 = \frac{\mu}{6} 10^{-10} R_{rrs}^{1.74}, m^2$$

Natomiast zmianę współczynnika a aproksymowano zależnością :

$$a = 6 \cdot 10^9 R_{rrs}^{-1.74}, Ns/m^4$$

Reasumując można stwierdzić, że współczynnik przepuszczalności zrobów uzależniony jest od:

- 1) rodzaju skał stropowych tworzących zawał,
- 2) odległości od frontu ściany.

Skały o mniejszej wytrzymałości łatwiej przechodzą w stan zawału i tworzą zawał charakteryzujący się większym uszczelnieniem i tym samym mniejszym współczynnikiem przepuszczalności. Natomiast skały trudno przechodzące w stan zawału tworzą zawał charakteryzujący się znacznie większymi współczynnikami przepuszczalności.

Największą wartość przyjmuje za frontem ściany i systematycznie maleje w miarę oddalania się od niego. Po osiągnięciu wartości minimalnej współczynnik przepuszczalności wzrasta aż do miejsca rozpoczęcia ściany. W miejscu rozpoczęcia ściany wartość współczynnika w miarę upływu czasu (zwiększenia odległości od linii zawału) maleje, jednak jest znacznie większa niż w miejscu o największym uszczelnieniu zrobów.

Przeprowadzone badania wskazują, że:

1. Jednym z najistotniejszych parametrów charakteryzujących przepływ powietrza przez strefę zawału jest współczynnik przepuszczalności zrobów. Wartość tego współczynnika zależy od rodzaju skał stropowych tworzących zawał. Zawały tworzone przez stropy o różnym oporze rozwarstwienia stwarzają różne warunki dla przepływającego przez nie powietrza. Analizując otrzymane wyniki pomiarów widać, że w miarę wzrostu oporu rozwarstwienia wzrasta współczynnik przepuszczalności zrobów i wzrasta również strumień objętości powietrza przepływający przez strefę zawału

2. Z analizy pomiarów i obliczeń wynika, że współczynnik przepuszczalności zrobów maleje w miarę wzrostu odległości od frontu ściany. Największą wartość współczynnika przepuszczalności osiąga w pobliżu ściany, najmniejszą zaś w odległości około 2/3 jej wybiegu. Po przejściu minimum współczynnik przepuszczalności wzrasta aż do miejsca rozpoczęcia ściany. Wraz ze wzrostem wybiegu ściany współczynnik przepuszczalności w tym miejscu maleje, jednak zawsze jest znacznie większy od wartości minimalnej dla danej ściany. Wraz ze wzrostem wybiegu ściany powiększa się również odcinek zrobów o małym współczynniku przepuszczalności.

3. Największymi wartościami współczynników przepuszczalności charakteryzują się zroby, dla których opór rozwarstwienia jest największy. W miarę zmniejszenia oporu rozwarstwienia skał stropowych współczynnik przepuszczalności zrobów maleje. Pomiaru prowadzone były przy oporze rozwarstwienia skał stropowych zmieniającym się od $2,5 \cdot 10^6$ do $7,0 \cdot 10^6$ N/m².

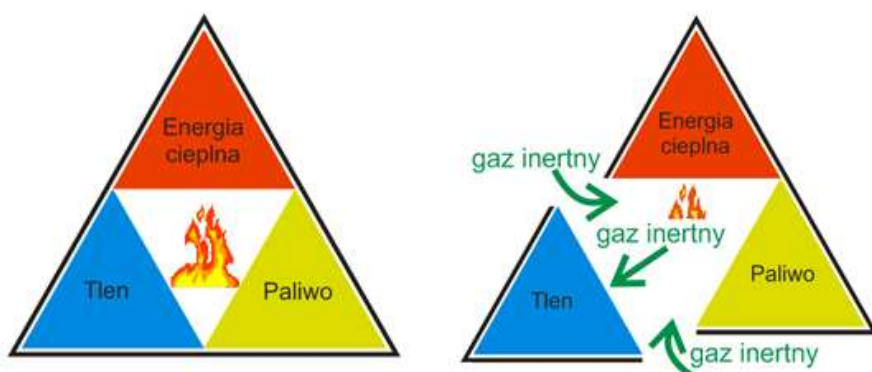
Podane powyżej wartości współczynnika przepuszczalności pozwalają na dokonanie oceny rozkładu stężenia metanu w zrobach za przesuującym się frontem ściany. Natomiast w przypadku przemulania lub podsadzania zrobów uzyskuje się zmianę współczynnika przepuszczalności zrobów. Wartość przepuszczalności zrobów po podaniu podsadzki jest trudna do określenia z uwagi na sposób podania materiału uszczelniającego. W tym przypadku niezbędne jest określenie zakresu podsadzania zrobów.

Inertyzacja atmosfery zrobów ścian zawałowych

Pod pojęciem inertyzacji należy rozumieć częściowe lub całkowite zastępowanie powietrza lub palnej atmosfery przez obojętny gaz. Celem stosowania gazów inertnych jest obniżenie zawartości tlenu do granicy uniemożliwiającej dalszy rozwój pożaru. Metoda ta w uzasadnionych przypadkach pozwala zmniejszyć zagrożenie powstawania ognisk pożarów endogenicznych, jak również ewentualnych wybuchów gazów.

Wśród najczęściej stosowanych gazów inertnych stosowanych w kopalniach są:

- dwutlenek węgla (CO₂),
- metan,
- gazy spalinalne,
- azot (N₂).



Wpływ gazu inertnego na proces palenia

O inertyzacji jako o aktywnej formie walki z pożarami można mówić w przypadku działania gazami obojętnymi bezpośrednio na ognisko pożaru, najczęściej w początkowym jego etapie. Inertyzacja rzadko jest jednak stosowana jako samodzielna metoda walki z pożarami podziemnymi. Pełne wykorzystanie jej zalet jest możliwe dopiero po spełnieniu szeregu warunków. Do najważniejszych z nich należy odpowiednia izolacja pola pożarowego oraz dostosowanie parametrów gazu obojętnego: rodzaju, ilości oraz prędkości podawania do lokalnych „warunków wentylacyjnych i górniczo-geologicznych. Z tego powodu niejednokrotnie wspomina się o aktywno-pasywnych

metodach walki, mając na uwadze inertyzację jako część aktywną akcji oraz otamowanie pola pożarowego jako pasywną.

Użycie gazów obojętnych wspomagające wentylacyjne metody gaszenia pożarów, może znacznie skrócić czas walki z pożarem. Odpowiednia izolacja palących się lub rozgrzanych powierzchni czy mieszanin gazów pożarowych, poprzez stworzenie strefy o niskiej zawartości (lub pozbawionej) tlenu, może doprowadzić do zahamowania rozwoju pożaru lub jego zgaszenia.

Skuteczność działania gazu obojętnego użytego do inertyzacji środowiska gazowego otamowanych wyrobisk i zrobów zależy od wielu czynników. Najważniejsze z nich, decydujące o wykorzystaniu gazu w specyficznych warunkach dołowych, to:

- rozmiary (objętość) otamowanej przestrzeni wypełnionej gazem obojętnym,
- szczelność tam izolujących wyrobiska i zrobów oraz skał górotworu pomiędzy otamowanymi przestrzeniami a wyrobiskami czynnymi wentylacyjne, w tym także ścianami prowadzonymi z zawałem stropu,
- ukształtowanie pola potencjału aerodynamicznego w obrębie otamowanych przestrzeni,
- rodzaj użytego gazu obojętnego oraz jego ilość, powiązana z wydajnością podawania do otamowanych przestrzeni.

W Polsce do inertyzacji podziemnych pól pożarowych stosowane były m.in. takie gazy jak: dwutlenek węgla, azot, gazy spalinowe w tym zawilgocone, dwutlenek siarki czy metan. Gazy te posiadają różne własności gaszące, przy czym najważniejszym celem ich stosowania jest obniżenie zawartości tlenu w przestrzeni otamowanej do granicy uniemożliwiającej dalszy rozwój pożaru.

Zastosowanie azotu w prewencji pożarów endogenicznych

Dla organizmu ludzkiego azot jest obojętny, natomiast zagrożeniem może być zwiększenie jego stężenia w powietrzu, ze względu na wypieranie tlenu i powstanie atmosfery duszącej.

Ze względu na swe właściwości fizyko-chemiczne, a w szczególności na brak wyczuwalności wyższych stężeń azotu przez organizm ludzki istnieje niebezpieczeństwo szybkiego uduszenia.

W celu zapewnienia bezpieczeństwa pracy w wyrobiskach z zabudowaną instalacją do podawania azotu określono minimalną ilość powietrza ($\dot{Q}_{min}$) w tych wyrobiskach:

$$\dot{Q}_{min} = \dot{Q}_{N_2} \cdot \frac{S_{O_2 dop} - S_{O_2 rur}}{S_{O_2 wyr} - S_{O_2 dop}}, \text{ m}^3/\text{min}$$

gdzie:

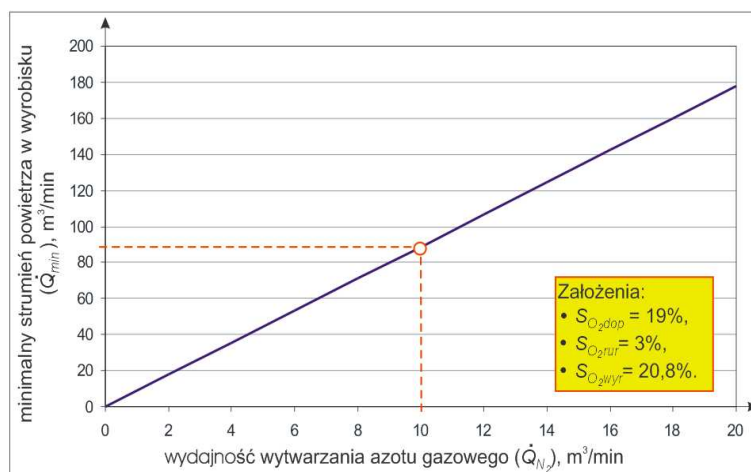
- $\dot{Q}_{N_2}$ – wydajność z jaką podawany jest azot, m^3/min ;
- $S_{O_2 dop}$ – stężenie O_2 dopuszczalne w powietrzu kopalnianym, %;
- $S_{O_2 rur}$ – stężenie O_2 w rurociągu, %;
- $S_{O_2 wyr}$ – stężenie O_2 w wyrobiskach, %.

Zgodnie z powyższą zależnością określa się minimalną ilość powietrza w prądach opływowych, a także w wyrobiskach przewietrzanych za pomocą wentylacji odrębnej. Dla tak obliczonej minimalnej ilości powietrza w wyrobiskach, w których poprowadzony jest rurociąg doprowadzający azot w przypadku uszkodzenia instalacji nie dojdzie do spadku zawartości tlenu w powietrzu poniżej dopuszczonej przepisami ilości (19 %).

Na podstawie powyższej zależności sporządzono rysunek. Przy sporządzaniu tego wykresu przyjęto następujące założenia:

- minimalne stężenie tlenu w powietrzu kopalnianym dopuszczone przepisami - $S_{O_2 dop} = 19\%$,
- maksymalne stężenie tlenu w rurociągu z azotem - $S_{O_2 rur} = 3\%$,
- stężenie tlenu w powietrzu kopalnianym w normalnych warunkach - $S_{O_2 wyr} = 20,8\%$.

Na rysunku zaznaczono znamionową wydajność wytwarzania azotu, którą można osiągnąć stosując urządzenie membranowe HPLC; jest to $600 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ($10 \text{ m}^3/\text{min}$). Dla tej wydajności wytwarzania azotu minimalna ilość powietrza, którą należy zapewnić aby zawartość tlenu w powietrzu nie była niższa od dopuszczalnej, to ok. $90 \text{ m}^3/\text{min}$.



Zmiany minimalnego strumienia powietrza w zależności od wydajności wytwarzania azotu

Interpretacja wyników pomiarów z przestrzeni otamowanej

W początkowej fazie pożaru w kopalni podziemnej, powszechną praktyką jest próba gaszenia pożaru pod ziemią tak długo, jak to jest możliwe. W krytycznym czasie może dojść do narażenia walczących z ogniem na niebezpieczeństwo wdychania dymu i możliwość wybuchu. W celu zmniejszenia narażenia górników na niebezpieczeństwo w czasie pożarów i być może uratowanie życia tych, którzy mogą być w zagrożonym rejonie, amerykański Narodowy Instytut Bezpieczeństwa i Higieny Pracy (NIOSH) prowadzi badania nad możliwością zdalnego gaszenia pożarów w kopalniach podziemnych. Badania te, przedstawione m.in. w pracy, polegają na opracowaniu sposobów zdalnego zamykania zagrożonych rejonów kopalni oraz sposobów zdalnego gaszenia pożarów (rozważane sposoby zdalnego gaszenia pożarów polegają głównie na metodach inertyzacyjnych).

Po otamowaniu pożaru należy wyrównać potencjały aerodynamiczne, tak by nie dopuścić do ponownego dopływu powietrza. Zawartość tlenu w atmosferze przestrzeni otamowanej ustala się po pewnym czasie na niskim poziomie, wynikającym z jego zużycia we wczesnym stadium pożaru. Gdy stan taki zostanie osiągnięty, to wówczas pożar gaśnie z braku tlenu koniecznego dla podtrzymania reakcji, a otwarcie pola pożarowego jest uwarunkowane wychłodzeniem ogniska pożaru, tak aby dopływ tlenu nie spowodował jego wznowienia. Sposób taki odznacza się wysoką skutecznością, ale pod warunkiem, że przestrzeń otamowana jest szczelna, wyrównanie potencjałów stabilne w całym okresie czasu. Warunki te nie są łatwe do spełnienia w spękanym górotworze.

W tym miejscu należy również zwrócić uwagę na rolę jaką odgrywa określenie kryterium wygaśnięcia pożaru w przestrzeni otamowanej. Na etapie otwierania pola i wznowiania przewietrzania w tym obszarze często dochodzi do procesów wznowienia samozagrzewania i samozapalenia węgla co ma istotne znaczenie z uwagi na zapewnienie bezpieczeństwa załogi. Aby można podjąć właściwą decyzję o otwarciu pola pożarowego, konieczna jest znajomość pewnych parametrów określających kryteria wygaśnięcia pożaru.

Badanie składu gazów

Dla oceny stanu pożaru w przestrzeni otamowanej zaproponowano przedstawienie na jednym wykresie zmian stężenia pięciu wskaźników prostych w czasie:

- tlenu,
- azotu,
- ditlenku węgla,
- tlenku węgla,
- metanu,
- pozostałych węglowodorów.

Na podstawie kształtowania się wartości tych wskaźników w czasie można wyciągnąć wstępne wnioski o przebiegu procesu samozagrzewania w przestrzeni otamowanej. Składniki gazów pożarowych pozostają w pewnych zależnościach w mieszaninie gazowej. Analiza przebiegu wszystkich wskaźników prostych na jednym wykresie eliminuje popełnienie błędu oceny rozwoju

pożaru w stosunku do analizy przebiegu pojedynczego wskaźnika. Przebieg wskaźników prostych w analizowanym okresie na jednym wykresie nazwany będzie charakterystyką pożaru.

Przeprowadzona analiza wskaźników pożarowych wykazała, że dla przedstawionego powyżej składu gazów pożarowych możliwe jest określenie następujących złożonych wskaźników pożarowych: G, F, Y, W, B, M, TR, L, BO_2 , CO/CO_2 , C/H.

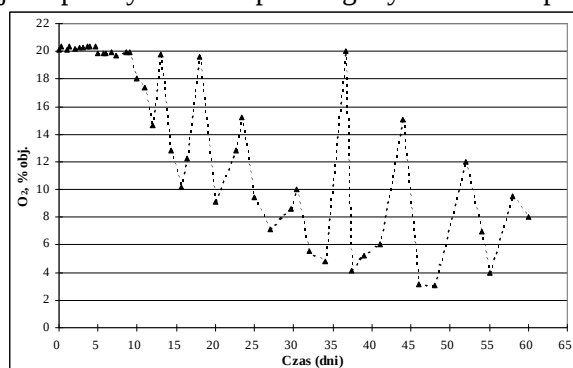
Ostatecznym potwierdzeniem wstępnej oceny stanu pożaru na podstawie charakterystyki pożaru jest analiza kształtowania się złożonych wskaźników pożarowych w czasie. Wybór wskaźników złożonych do analizy nie jest prosty. Można wykorzystywać wszystkie wskaźniki pożarowe, jednak przy wyciąganiu wniosków na podstawie przebiegu ich wartości w czasie należy pamiętać o zasadniczym zjawisku, które opisuje dany wskaźnik. Na podstawie danych pomiarowych z dwóch otamowanych przestrzeni przeprowadzona będzie analiza doboru poszczególnych wskaźników.

Wyniki stężenia danego gazu za tamą pożarową mogą być zmienne w czasie, co może świadczyć o zmianach procesów utleniania zachodzących w otamowanej przestrzeni, ale może być przyczyną wpływu również innych czynników, np. zmian ciśnienia barometrycznego, rozkładu potencjałów aerodynamicznych wokół pola, rozszczelnienia tam pożarowych w wyniku zmian dynamicznych w strukturze górotworu itp. Dodatkowo na przebieg zmian wskaźników w czasie wpływa błąd wykonywania pomiarów. Przebieg zmian stężenia za tamami może powodować trudności w interpretacji zjawisk zachodzących w otamowanej przestrzeni. W celu możliwości określenia tendencji w przebiegu poszczególnych wskaźników wykorzystano analizę szeregów czasowych związaną z określeniem trendu rozwoju wskaźników w czasie.

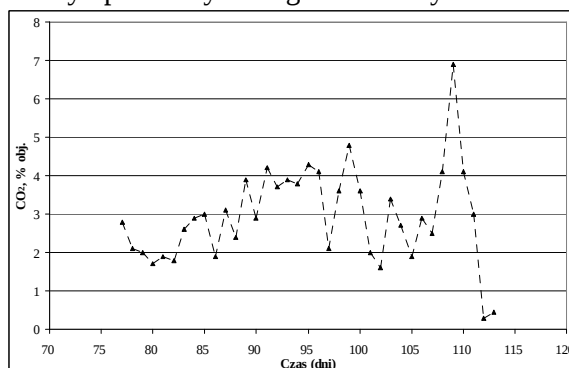
Wykorzystanie analizy szeregów czasowych

W wyniku prowadzenia cyklicznych (w ustalonych odstępach czasu) pomiarów stężeń gazów za tamami pożarowymi uzyskuje się pewną liczbę wyników pomiarów. Liczba ta uzależniona jest głównie od ustalonego odstępu czasowego pobierania prób powietrza oraz od czasu istnienia otamowanej przestrzeni. W przypadku pól pożarowych czas istnienia może wynosić kilka a nawet kilkanaście lat.

Podczas wykonywania tak dużej liczby pomiarów zwykle występuje pewien rozrzut statystyczny wyników. Użykuje się pewną liczbę wyników cyklicznych, którą można traktować jako zmienne losowe. Przebieg zmian stężenia za tamami może powodować trudności w interpretacji zjawisk zachodzących w otamowanej przestrzeni. Przykładem mogą być zmiany stężenia tlenu za tamą TI-1 w otamowanym rejonie śc. 44Z2 pokł. 505/1 oraz stężenia ditlenku węgla zza tamy T2 otamowanego rejonu śc. A-1 przedstawione na poniższym rysunku. Na podstawie przebiegu zmian tych stężeń trudno ocenić tendencję spadku lub wzrostu stężenia gazu w czasie. W takich przypadkach pomocne jest aproksymowanie przebiegu tych wartości przy pomocy np. analizy szeregów czasowych.



*Zmiany stężenia O_2 po otamowaniu rejonu
śc. 44Z2 pokł. 505/1*



*Zmiany stężenia CO_2 w okresie od 74 do 113
dnia po utworzeniu pola pożarowego*

W takich przypadkach możliwe jest wykorzystanie analizy szeregów czasowych do określania przebiegu tych stężeń.

W teorii szeregów czasowych wyróżnia się zwykle następujące składniki szeregu czasowego:

- tendencję rozwojową, zwaną w skrócie trendem;
- wahania okresowe;
- wahania koniunkturalne;
- wahania przypadkowe.

W rozważanych zagadnieniach analizowania cyklicznych danych pomiarowych zza tam pożarowych możliwe jest wykorzystanie tendencji rozwojowej czyli trendu, który ujawnia się poprzez systematyczne, jednokierunkowe zmiany (wzrost lub spadek) poziomu badanych zjawisk, zachodzących w długim okresie. Charakter tych zmian pozwala przypuszczać, że przyczyną występowania określonego trendu w przebiegu zjawiska samozagrzewania czy wygaszania jest stałe oddziaływanie czynników zewnętrznych, określanych mianem przyczyn głównych.

Analizę szeregów czasowych można posługiwać się w przypadku, kiedy nie jest znana zależność funkcyjna zmiennej losowej y od przedziału czasu t . Szereg czasowy zdefiniować można jako ciąg zmiennych losowych $\{y_i; i=1, \dots, n\}$ mających określony łączny rozkład. Takimi zmiennymi są wyniki pomiarów składu gazów zza tam pożarowych lub wyznaczone na ich podstawie wartości wskaźników pożarowych.

Zmienne losowe są sumą wartości prawdziwej mierzonej η_i i błędu pomiaru e_i . Jeżeli fluktuacje zmiennej losowej podlegają pewnemu trendowi to można określić krzywą przechodzącą przez punkty pomiarowe. Chcąc uzyskać możliwie gładkie funkcje zmiennej t można dla każdej wartości przypisać wyrażenie:

$$u_i = \frac{1}{2k+1} \sum_{j=i-k}^{i+k} y_j$$

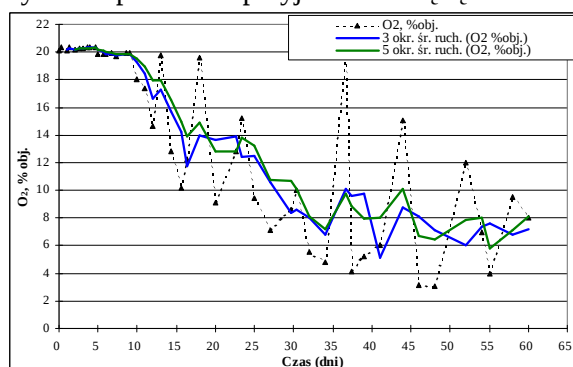
będące średnią (nieważoną) wartości pomiarów dokonanych w chwilach $t_{i-k}, t_{i-k+1}, \dots, t_i, t_{i+1}, \dots, t_{i+k}$. i nazwać go można wartością średnią ruchomą zmiennej y_i .

Zmienna j w powyższym wyrażeniu przyjmuje wartości:

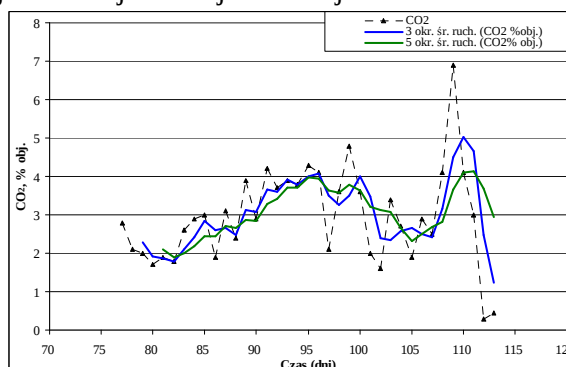
$$j = i - k, i - k + 1, \dots, i + k.$$

Liczbę wyrazów szeregu uwzględnianych przy obliczaniu średniej ruchomej wyrażono w zależności μ poprzez $2k+1$. Zmienna k prezentuje przedział czasowy po którym uśredniamy wartości zmiennej y_i . Przyjmując otrzymuje się wzór na średnie trójkresowe, a przy przyjęciu $k=2$ na średnie pięciokresowe itd.

Przyjmując dwa przedziały czasowe uśredniania wyników pomiarów ($k=1$ i $k=2$) wyznaczono funkcję trójkresowej średniej ruchomej (linia niebieska) oraz 5-cio okresowej średniej ruchomej (linia zielona). Analizując przebieg 5-cio okresowej średniej ruchomej można zauważyć, że wykazuje ona większe „wygładzenie” przebiegu stężeń gazu. Aby nie popełnić błędu przy wyciąganiu wniosków na podstawie dopasowania funkcji opisującej wartość średnią ruchomą w dalszej analizie wyników pomiarów przyjmowane będą wartości trójkresowej średniej ruchomej.



Trendy zmian stężenia O_2 po otamowaniu rejonu śc. 44Z2 pokł. 505/1



Trendy zmian stężenia CO_2 w okresie od 74 do 113 dnia po utworzeniu pola pożarowego

W dalszej części analizy wskaźników pożarowych wnioski dotyczące stanu pożaru nie będą wyciągane wprost o przebieg zmian wartości poszczególnych wskaźników w czasie, ale o ich trend wyznaczony w oparciu o przebieg średniej ruchomej ich wartości.

Ogólna ocena tendencji rozwoju (lub wygaszania) pożaru może być oparta o charakterystykę pożaru. Metoda ta polega na analizie przebiegu zmian składników gazów pożarowych (trendów) w czasie. Charakterystyka pożaru daje ogólny obraz rozwoju pożaru. Proponuje się przedstawienie na jednym wykresie zmian stężenia pięciu składników gazowych (tlen, azot, ditlenek węgla, tlenku węgla, oraz węglowodorów nienasyconych). Trend rozwoju poszczególnych składników gazowych w analizowanym okresie czasowym wykazywać może przydatne informacje.

Tendencja zmian stężenia tlenu w otamowanym polu

Jeżeli w otamowanej przestrzeni przebiega reakcja utleniania węgla, to zawartość tlenu w atmosferze otamowanej przestrzeni spada. Szybkość spadku zawartości tlenu zależy od intensywności utleniania. Im większa jest intensywność utleniania, tym jest większa szybkość spadku zawartości tlenu. W przypadku samozagrzewania lub spalania węgla zawartość tlenu płynnie spada, a przebieg ten można opisać funkcją wykładniczą w zależności od czasu otamowania pola. Gdy wystąpił wybuch gazu lub pyłu węglowego w przestrzeni otamowanej to zawartość tlenu spada intensywnie. Jeżeli nie ma samozagrzewania lub spalania albo wybuchu, przebieg zmiany stężeń tlenu jest jednostajny. Jeżeli pożar uległ wygaszeniu, zawartość tlenu w atmosferze wzrasta lub stabilizuje się wokół pewnej wartości. Gdy do pola pożarowego dopływają gazy, np. metan z górotworu, zawartość tlenu spada.

Tendencja zmian stężenia tlenku węgla

Tlenek węgla jest głównym gazem wskaźnikowym pożaru. Szybkość wzrostu zawartości CO w atmosferze otamowanej przestrzeni jest znacznie większa niż innych produktów gazowych utleniania węgla. Wzrost zawartości CO wskazuje na spalanie lub niskotemperaturowe utlenianie węgla. W odróżnieniu od ditlenku węgla jego pochodzenie wynika jedynie ze spalania lub reakcji niskotemperaturowego utleniania paliwa. Tlenek węgla różni się od węglowodorów granicą stężenia wybuchowości w atmosferze – 12,5% obj. - co powoduje brak jego spalania w ognisku pożaru. Jego zawartość prawie nie zostaje naruszona innymi czynnikami oprócz pożaru. Zazwyczaj po wygaszeniu pożaru zawartość CO w atmosferze powoli, stopniowo spada. W niektórych przypadkach zawartość CO w otamowanej przestrzeni utrzymuje się przez dłuższy okres po wygaszeniu pożaru, co fałszywie może wpływać na ocenę stanu pożaru.

Tendencja zmian stężenia ditlenku węgla

Ditlenek węgla jest głównym gazem produkowanym podczas spalania węgla. Produkcja CO₂ jest większa niż innych produktów gazowych. W czasie pożaru stężenie ditlenku węgla wzrasta wraz ze spadkiem stężenia O₂ z tą samą lub większą szybkością. Odwrotnie, jeżeli stężenie ditlenku węgla w atmosferze pola otamowanego spada, to stężenie tlenu będzie wzrastać. Jeżeli stężenie tlenu powoli, w sposób płynny maleje, to intensywność rozwoju pożaru nie jest duża. Natomiast na podstawie małej szybkości wzrostu stężenia ditlenku węgla nie można mówić o niewielkiej intensywności pożaru. W środowisku kopalnianym CO₂ może wydzielać się z górotworu lub powstać w wyniku reakcji węglanów z kwaśną wodą. Ditlenek węgla również może być adsorbowany przez węgiel koksowy lub sadzę wyprodukowaną w pożarze oraz rozpuszczać się w wodzie.

Tendencja zmian stężenia azotu

Jeżeli w otamowanej przestrzeni nie istnieją procesy samozagrzewania węgla, to tendencja zmian zawartości azotu jest podobna do zmiany zawartości tlenu. Gdy przebiega proces samozagrzewania węgla, tendencje zmian zawartości azotu i tlenu są rozbieżne; zawartość azotu wzrasta, a zawartość tlenu spada. Gdy istnieje otwarty pożar, zawartość azotu utrzymuje się na stałym poziomie albo powoli spada, a zawartość tlenu szybko spada. Gdy wystąpił wybuch, zawartość azotu utrzymuje się wokół standardowej zawartości w powietrzu, a zawartość tlenu intensywnie spada.

Tendencja zmian stężenia wodoru i nienasyconych węglowodorów

Wodór (H₂), etylen (C₂H₄), propylen (C₃H₆) i czasami acetylen (C₂H₂) lub butylen (C₄H₈) wydzielają się w podanej kolejności wraz ze wzrostem temperatury węgla. Wykrywanie wodoru, etylenu, propylenu i acetyleny w próbach gazowych w podanej kolejności jest oznaką wzrostu samozagrzewania; natomiast podczas redukcji samozagrzewania te nienasycone węglowodory zanikają w kolejności odwrotnej. Pomiar tych węglowodorów wymaga jednak wykorzystania technik chromatografii gazowej.

Trendy zmian wskaźników pożarowych w czasie dostarczają lepszych informacji o przebiegu procesów w otamowanym polu niż chwilowe ich wartości.

Na podstawie wniosków z ogólnej oceny rozwoju procesów wynikającej z charakterystyki pożaru można przystąpić do analizy przebiegu złożonych wskaźników pożarowych. Nie uwzględnienie wniosków wynikających z analizy charakterystyki może często prowadzić do błędnych wniosków podczas analizy przebiegu samych wskaźników pożarowych.

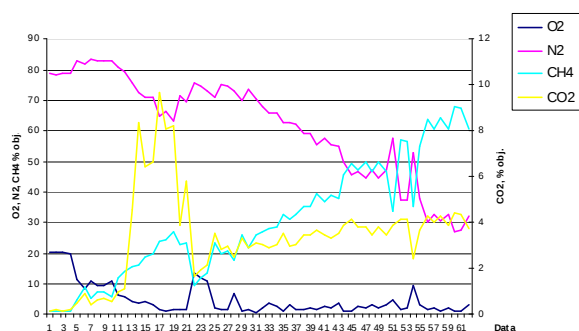
Ocena stanu pożaru w przestrzeni otamowanej z inertyzacją azotem i ditlenkiem węgla

W wyniku zapłonu metanu zaistniałego rejon ściany został czasowo otamowany tamami przeciwwybuchowymi T-1 (zabudowaną w chodniku F-22) i T-2 (zabudowaną w chodniku F-22a). W ramach prac profilaktycznych w otamowanym rejonie prowadzono inertyzację atmosfery przy pomocy azotu i dwutlenku węgla. Z otamowanego rejonu ściany pobierano próby gazów do analizy chromatograficznej i okresowo dokonywano ich interpretacji.

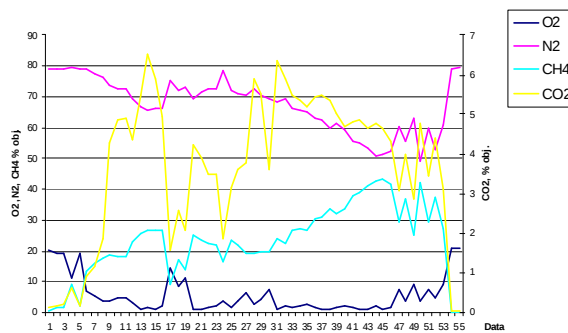
Na poniższych rysunkach zamieszczono zmianę zawartości azotu, tlenu, metanu i dwutlenku węgla

w wymienionych miejscach ich pobierania od czasu ich pobrania. Oś pozioma oznaczona jest numerem kolejnym odpowiadającym dokładnemu czasowi pobierania próby. Dla każdej pobieranej próby czas ten jest inny. Z rysunku widać, że w otamowanym rejonie ściany systematycznie maleje zawartość azotu, mimo jego podawania do otamowanej przestrzeni, a rośnie zawartość metanu. Zawartość tlenu utrzymuje się na stabilnym niskim poziomie. Natomiast zawartość dwutlenku węgla w początkowym okresie wzrasta (po otamowaniu rejonu podawano również dwutlenek węgla), a następnie utrzymuje się na stałym poziomie z nieco większą wartością za tamą T-1 (wlotową). Z tych przebiegów zawartości gazów widać, które próby były pobierane z mniejszą starannością. Wówczas wzrasta zawartość tlenu i azotu a malej metanu i dwutlenku węgla.

Reasumując należy stwierdzić, że pobierane próby gazów z otamowanego rejonu ściany nie wskazują na występowanie w tym rejonie podwyższonego zagrożenia pożarowego. W związku z powyższym istnieje możliwość otwarcia, przewietrzania i penetracji otamowanego rejonu ściany w zgodnie z opracowanym planem akcji. Przeprowadzona penetracja wykazała, że oznak pożaru nie stwierdzono.



Zmiana zawartości azotu, tlenu, metanu i dwutlenku węgla w otamowanym rejonie podczas inertyzacji dwutlenkiem węgla zza tamy T-2



Zmiana zawartości azotu, tlenu, metanu i dwutlenku węgla w otamowanym rejonie podczas inertyzacji dwutlenkiem węgla zza tamy T-1

Azotowanie zrobów w trakcie ruchu ściany

Podejmowane w wyniku pożarów akcje przeciwpożarowe powodują, w przypadku aktywnego gaszenia, częściowe wstrzymanie robót górniczych w części kopalni, a w przypadku pasywnego gaszenia zachodzi konieczność tamowania wyrobisk celem ich izolacji, w wyniku czego w polu pożarowym niejednokrotnie pozostaje bardzo znaczny majątek trwały oraz zasoby węgla.

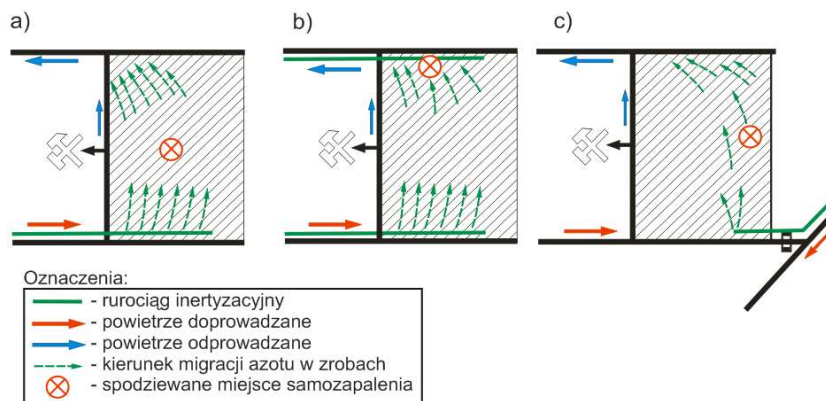
Najtańszą metodą ograniczania zagrożenia pożarowego jest wcześniej podjęta profilaktyka czyli zapobieganie. Może ona być stosowana różnymi metodami, jednak nie może ona występować w oderwaniu od podstawowych działań wentylacyjnych.

Dobór odpowiednich działań prewencyjnych uzależniony jest od wielu czynników, z których, najistotniejsze to:

- uwzględnienie odpowiedniego sposobu rozprowadzenia powietrza (szczególnie w rejonach oddziałów wydobywczych),
- uwzględnienie prawidłowego kształtowania potencjałów aerodynamicznych (szczególnie w otoczeniu wybieranych ścian),
- uwzględnienie panujących warunków górniczo-geologicznych.

Przed przystąpieniem do podawania azotu do zrobów ścian należy określić potencjalne miejsca samozapalenia węgla w zrobach i wybrać miejsce podawania azotu do zrobów w taki sposób, aby kierunek przepływu azotu w zrobach był zgodny z kierunkiem migracji powietrza w zrobach. Na rysunku przedstawiono schematycznie sposób doprowadzenia azotu do zrobów ściany zawałowej.

W przypadku powstania samozapalenia węgla w dolnej lub środkowej części ściany wskazane jest doprowadzać azot do zrobów chodnikiem doprowadzającym powietrze do ściany, natomiast w przypadku powstania samozapalenia w górnej części ściany, celowe wydaje się równoczesne doprowadzenie azotu chodnikiem odprowadzającym zużyte powietrze ze ściany. W przypadku powstania samozapalenia w miejscu rozpoczęcia ściany wskazane jest, jeżeli układ wyrobisk na to pozwala, doprowadzać azot do miejsca rozpoczęcia ściany.

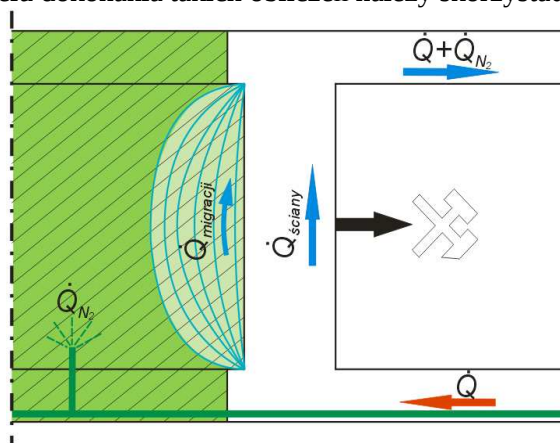


*Sposoby doprowadzenia azotu w stanie gazowym do zrobów ściany zawałowej
a - chodnikiem doprowadzającym powietrze do ściany; b - chodnikiem doprowadzającym i odprowadzającym powietrze ze ściany; c - do miejsca rozpoczęcia ściany*

Można założyć, że w trakcie prowadzenia ścian azot podawany do zrobów będzie wynoszony wraz z przepływającym przez strefę zawału powietrzem. Na rysunku poniższym przedstawiono bilans przepływu powietrza i podawanego azotu do zrobów w trakcie ruchu ściany przewietrzanej systemem U. Układ taki został wykorzystany do obliczeń spadku stężenia tlenu na wylocie z analizowanej ściany.

Należy podkreślić, że w chodniku odprowadzającym powietrze istnieje potencjalne zagrożenie gazowe związane z wypływem azotu wraz z gazami zrobowymi, w tym metanu. Azotowanie ściany metanowej o dużym zagrożeniu pożarowym winno być prowadzone pod szczególnym nadzorem z pełnym monitoringiem atmosfery w wyrobiskach odprowadzających powietrze ze ściany.

W celu zapewnienia bezpieczeństwa w wyrobiskach, w których poprowadzony jest rurociąg doprowadzający azot do rejonu ściany należy zapewnić odpowiednią ilość tlenu, czyli zarazem doprowadzanego powietrza. Zgodnie z przepisami minimalna zawartość tlenu w wyrobisku nie może być mniejsza od 19%. W celu dokonania takich obliczeń należy skorzystać z zależności.



Rysunek ideowy przepływów w rejonie inertyzowanej ściany przewietrzanej systemem U

Oznaczenia:

- $\dot{Q}$ – strumień powietrza doprowadzanego do ściany, m^3/min ,
- $\dot{Q}_{\text{ściany}}$ – strumień powietrza przepływający przez korytarz ściany, m^3/min ,
- $\dot{Q}_{\text{migracji}}$ – strumień powietrza przepływający przez zrob ściany, m^3/min ,
- $\dot{Q}_{N_2}$ – ilość azotu doprowadzona do zrobów ściany, m^3/min .

Zgodnie z założeniami profilaktyki ilość podawanego azotu do zrobów ściany powinna przede wszystkim obniżyć stężenia tlenu w zrobach. Z uwagi na dopływ powietrza do strefy zawalu i jego wpływ na wylocie ściany nie będzie możliwości znacznego obniżenia stężenia tlenu w zrobach, które uniemożliwiłoby rozwój procesu samozagrzewania. Przyczyną jest przede wszystkim wpływ gazów zrobowych wraz z azotem na wylocie ze ściany, co w przypadku znacznych ilości podawanego azotu prowadzić może z kolei do obniżenia stężenia tlenu w chodniku nadścianowym.

Wyznaczyć stężenie tlenu na wylocie ze ściany ($S_{O_2-wylot}$), przewietrzanej systemem U, w zależności od ilości wprowadzanego do zrobów azotu, jak również ilości powietrza dopływającego do ściany:

$$S_{O_2-wylot} = \frac{\dot{Q} \cdot S_{O_2-wyr} + \dot{Q}_{N_2} \cdot S_{O_2-rur}}{\dot{Q} + \dot{Q}_{N_2}}, \%$$

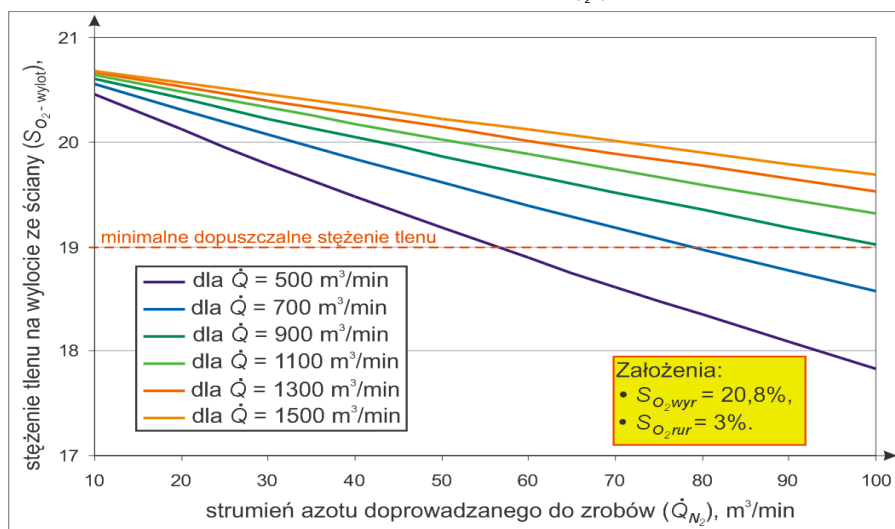
gdzie:

- $\dot{Q}$ – strumień powietrza doprowadzanego do ściany, m³/min,
- S_{O_2-wyr} – stężenie O₂ w wyrobiskach, %,
- $\dot{Q}_{N_2}$ – wydajność z jaką podawany jest azot, m³/min,
- S_{O_2-rur} – stężenie O₂ w rurociągu, %.

Na poniższym rysunku zostały przedstawione wyniki obliczeń, na podstawie powyższej zależności, zmian stężenia tlenu na wylocie ze ściany w zależności od ilości azotu wprowadzanego do zrobów. Obliczenia przeprowadzono dla różnych ilości powietrza dopływającego do ściany.

W obliczeniach przyjęto następujące założenia:

- stężenie tlenu na wlocie do ściany (S_{O_2-wyr}) wynosić będzie 20,8% obj.,
- do zrobów doprowadzany jest azot o stężeniu 97% obj. ($S_{O_2-rur} = 3\%$).



Zmiany stężenia tlenu na wylocie ze ściany przewietrzanej systemem U w zależności od strumienia azotu doprowadzanego do zrobów

Przekształcając powyższą zależność, można również wyznaczyć stężenie tlenu w zrobach ($S_{O_2-zroby}$), dla ściany przewietrzanej systemem U, w zależności od ilości wprowadzanego do zrobów azotu, jak również ilości powietrza dopływającego do ściany:

$$S_{O_2-zroby} = \frac{\dot{Q}_{migracji} \cdot S_{O_2-wyr} + \dot{Q}_{N_2} \cdot S_{O_2-rur}}{\dot{Q}_{migracji} + \dot{Q}_{N_2}}, \%$$

gdzie:

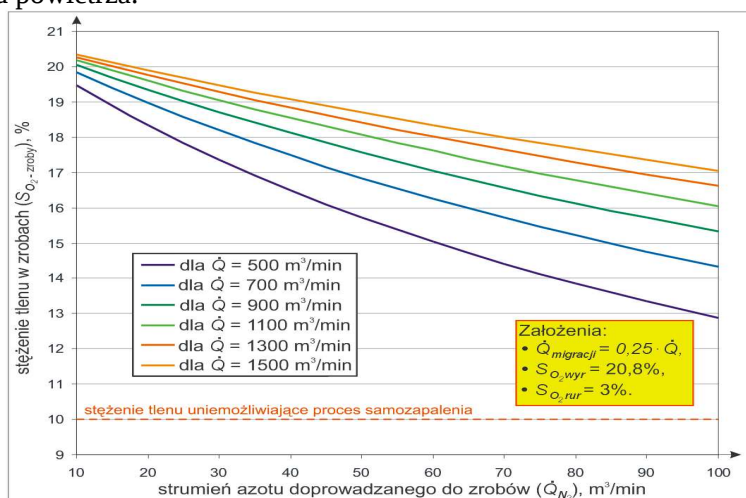
- $\dot{Q}_{migracji}$ – strumień powietrza przepływający przez zrob ściany, m³/min,
- S_{O_2-wyr} – stężenie O₂ w wyrobiskach, %,
- $\dot{Q}_{N_2}$ – wydajność z jaką podawany jest azot, m³/min,
- S_{O_2-rur} – stężenie O₂ w rurociągu, %.

Na poniższych rysunkach zaprezentowano wyniki obliczeń, na podstawie zależności wyprowadzonej, przedstawiające kształtowanie się stężenia tlenu w zrobach w zależności od ilości wprowadzanego do zrobów azotu, jak również ilości powietrza dopływającego do ściany. Wykresy zostały sporządzone dla różnych ilości powietrza doprowadzanego do ściany.

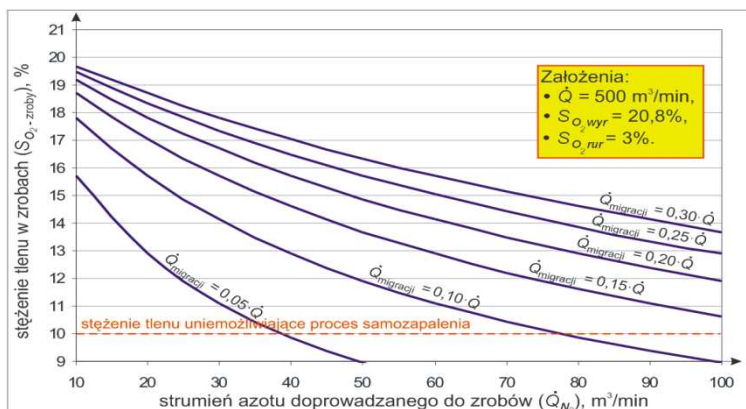
W obliczeniach przyjęto następujące założenia:

- około 25 % powietrza doprowadzanego przepływać będzie przez strefę zawałową na odległość do 150 m od frontu ściany ($\dot{Q}_{migracji} = 0,25 \cdot \dot{Q}$, gdzie: $\dot{Q}$ - strumień powietrza doprowadzanego do ściany, m^3/min),
- stężenie tlenu na wlocie do ściany ($S_{O_2, \text{wyr}}$) wynosić będzie 20,8% obj.,
- do zrobów doprowadzany jest azot o stężeniu 97% obj. ($S_{O_2, \text{zur}} = 3\%$).

Należy podkreślić, że założenie określonej strefy migracji jest bardzo dużym uproszczeniem, aby ją dokładnie obliczyć należałoby określić rozptyw powietrza przez strefę zawału znanymi metodami symulacji rozptyłu powietrza.



Zmiany stężenia tlenu w zrobach ściany przewietrzanej systemem U w zależności od strumienia azotu doprowadzanego do zrobów



Zmiany stężenia tlenu w zrobach ściany w zależności od strumienia azotu podawanego do zrobów i różnej migracji powietrza przy doprowadzaniu do ściany 500 m³/min powietrza

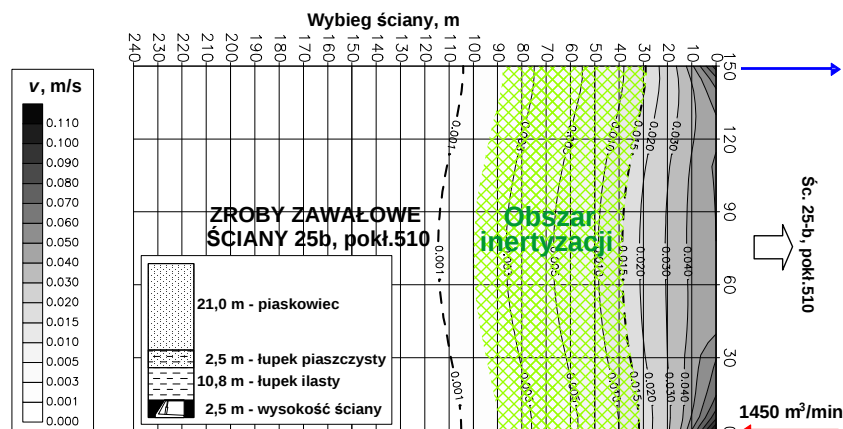
Należy stwierdzić, że w zakresie realnych ilości azotu podawanego do zrobów czynnej ściany, gdzie strefa migracji wynosi ok. 150 m za frontem ściany, nie ma możliwości obniżenia stężenia tlenu uniemożliwiającego samozagrzewanie się węgla.

Dodatkowo należy jeszcze pamiętać o możliwości pojawienia się w środowisku ściany tlenków węgla oraz metanu, które również z azotem mogą być wynoszone ze zrobów ściany. Jeżeli dojdzie do przekroczenia zawartości któregośkolwiek z tych gazów (CH_4 lub CO) należy przystąpić do stosowania profilaktyki aktywnej zwalczania zagrożenia poprzez czasowe otamowanie rejonu i zagazowanie ściany.

Podawanie azotu do zrobów czynnej ściany jest jednak wskazane. Instalacja powinna być tak zaprojektowana, aby umożliwiała regulację ilości podawanego azotu.

Zasięg inertyzacji zrobów

W celu wyznaczenia strefy potencjalnego samozagrzewania węgla przeprowadzono obliczenia prędkości przepływu przez zrobby ściany 25-b. Na rysunku przedstawiono wyniki obliczeń w formie wykresu izolinii prędkości powietrza dla analizowanej ściany zawałowej.



Wykres izolinii prędkości powietrza dla ściany 25-b

Maksymalna prędkość filtracji wynosząca 0,11 m/s występuje w narożach wlotu i wylotu ściany. W głąb zrobów prędkość filtracji maleje i dopiero po 100 metrach w głąb zrobów wynosi poniżej 1,5 mm/s. Kolorem zielonym zakreskowano obszar zrobów, gdzie prędkość powietrza może powodować akumulację ciepła w strefie utleniania węgla. Obszar ten jest jednocześnie obszarem, gdzie powinien być doprowadzany azot. Dla tego przypadku azot należy podawać w odległości ok. 30 ÷ 90 m za frontem ściany.

Istnieją również metody symulacji rozprzysy azotu wraz z powietrzem dla określonego punktu wtłaczania azotu. Metody te nie zostały jednak do tej pory dostatecznie zweryfikowane dla warunków rzeczywistych ścian zawałowych.

Znając zasięg wymaganej inertyzacji w zrobach ściany konieczne jest następnie określenie wymaganego strumienia objętościowego podawanego azotu.

Kontrola i monitoring atmosfery w rejonie ściany eksploatacyjnej

Podstawowe zasady kontroli atmosfery w rejonie ścian winny być oparte o następujące założenia:

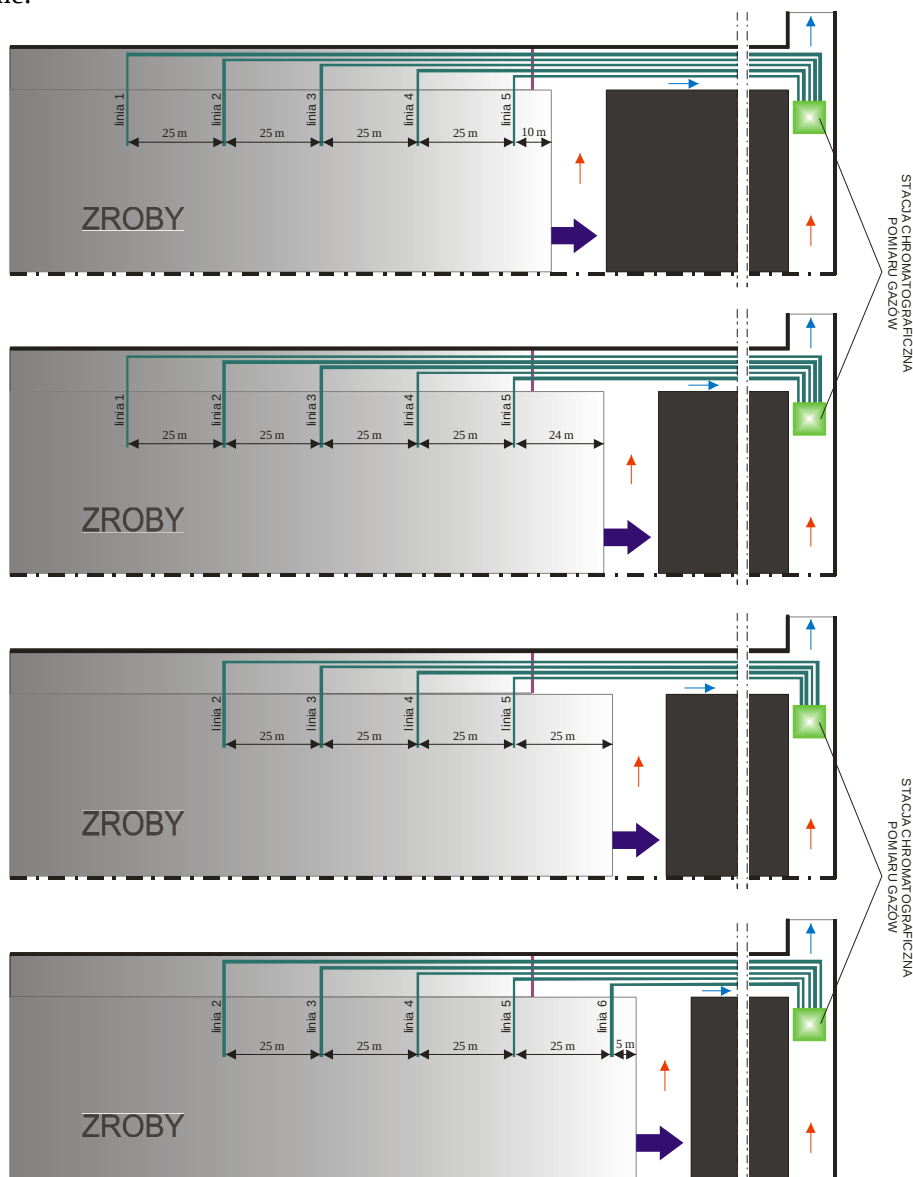
- 1 W chodniku nadścianowym odprowadzającym powietrze ze ściany zabudowany powinien być tlenomierz automatyczny, rejestrujący – alarmujący,
- 2 Rejon winien być zabezpieczony czujnikami metanowymi wyłączającymi – rejestrującymi w systemie metanometrii automatycznej,
- 3 Należy pobierać próby gazowe do analizy chromatograficznej ze zrobów w odległości od 10 do 100 m za frontem ściany poprzez pozostawianie linii pomiarowych w zrobach,
- 4 Należy prowadzić pomiary metanu metanomierzami indywidualnymi zgodnie z obowiązującymi instrukcjami kopalnianymi.,
- 5 Należy prowadzić pomiary stężenia tlenu indywidualnym analizatorem tlenu.

Próby powietrza ze zrobów pobierane będą za pomocą zabezpieczonych linii węzowych pozostawianych w likwidowanym chodniku nadścianowym. Przykładowy sposób rozmieszczenia linii węzowych pokazano na poniższym rysunku.

Niezależnie od powyższych działań należy prowadzić profilaktykę bieżącą związaną z:

- prowadzeniem wczesnego wykrywania pożarów endogenicznych z rejonu ściany zgodnie z obowiązującymi przepisami,
- stosowaniem monitoringu zagrożenia pożarowego za pomocą czujników CO-metii automatycznej oraz ilości przepływającego powietrza,
- bieżącym analizowaniu wyników pomiarów zawartości gazów.

W przypadku wzrostu zagrożenia pożarowego, metanowego lub nagłego wystąpienia zjawisk wskazujących na nasilenie tych zagrożeń należy opracować na bieżąco dodatkowe działania profilaktyczne.



Schemat lokalizacji linii pomiarowych do monitoringu atmosfery w zrobach ściany

Wpływ stosowania odmetanowania na rozkład stężenia metanu w zrobach ścian zawałowych i w prądzie opływowym

W ostatnim okresie w kopalniach węgla kamiennego miały miejsce zdarzenia związane z zapaleniem metanu. W następstwie tych zdarzeń śmierć ponieśli górnicy, a wielu uległo wypadkom ciężkim lub lekkim. Istniejący rozkład stężenia metanu może sprzyjać warunkom powstania zapalenia metanu lub jego wybuchu. Wystąpienie dość licznych zdarzeń w ścianach prowadzonych w warunkach dużego zagrożenia metanowego i pożarowego nakazuje zwrócenie większej uwagi na dobór sposobu przewietrzania ściany, jak i na parametry geometryczne wyrobisk przyścianowych.

Wyniki badań i analiz wskazują na pojawienie się czynników wpływających na powstawanie niebezpiecznych zdarzeń związanych z metanem, a mianowicie:

- w wielu kopalniach wraz z prowadzeniem eksploatacji na coraz większych głębokościach wzrasta stan zagrożenia metanowego, przy czym tendencja wzrostu zagrożenia jest znacznie większa od przyrostu głębokości prowadzenia robót górniczych,
- w wyniku wprowadzania na szeroką skalę zwiększonej koncentracji wydobywania, wzrosło wydzielanie się metanu ze zrobów do wyrobisk ścianowych,

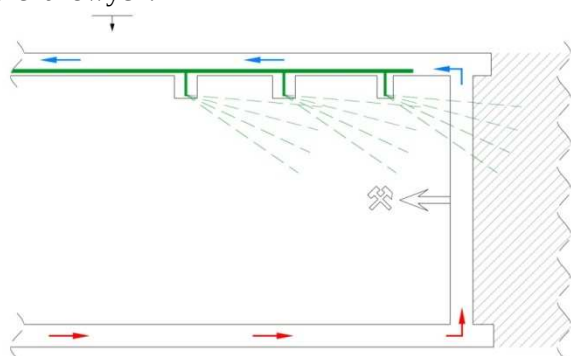
- zaznacza się zjawisko występowania dużego wydzielania się metanu w ścianach eksploatowanych w kopalniach uznanych dotychczas za niskometanowe, które nie są przygotowane do stosowania profilaktyki, szczególnie metanowej.

Zagrożenie pożarami endogenicznymi w polskich kopalniach jest nadal bardzo duże. Występuje mimo stosowanej coraz doskonalszej techniki wczesnego wykrywania pożarów i coraz skuteczniejszej profilaktyki. Zatem preferowanym systemem przewietrzania ściany w takim przypadku będzie system, który ograniczy do minimum przepływ powietrza przez zrob. Typowym przedstawicielem tej grupy jest przewietrzanie U od granic pola eksploatacyjnego. Powietrze płynące wzdłuż ściany węglowej przenika do zrobów tylko na niewielką odległość a strefa penetracji zrobów uzależniona jest m.in. od rodzaju skał stropowych i przemieszcza się wraz z postępem ściany.

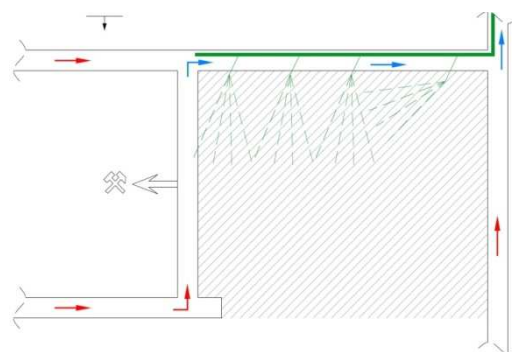
Współwystępowanie zagrożenia metanowego i pożarowego może być przyczyną zapłonu metanu i jego wybuchu.

Sposób odmetanowania jest ściśle uzależniony od systemu przewietrzania zastosowanego dla danego wyrobiska eksploatacyjnego. W kopalniach powszechnie stosuje się systemy przewietrzania na U oraz na Y, rzadziej z podwójnym chodnikiem wentylacyjnym. Odmetanowanie realizuje się poprzez otwory drenażowe, których parametry i umiejscowienie uzależnione są właśnie od systemu przewietrzania oraz od lokalnych warunków górniczo-geologicznych. Na poniższych rysunkach pokazano typowe sposoby odmetanowania w zależności od systemu przewietrzania ściany.

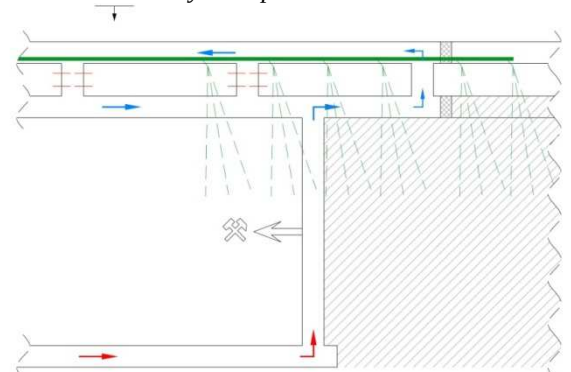
Utrzymywanie odpowiedniej ilości otworów drenażowych z uwagi na postęp ściany oraz zabudowane w chodniku wentylacyjnym urządzenia technologiczne stanowi duże wyzwanie organizacyjne. Na stosunkowo krótkim odcinku chodnika nadścianowego należy prowadzić roboty wiertnicze z intensywnością zapewniającą stałe utrzymywanie wymaganej liczby otworów drenażowych, tak aby zapewnić wymaganą skuteczność odmetanowania. W przypadku systemu na U na skrzyżowaniu chodnika wentylacyjnego i kanału ściany występują największe koncentracje metanu. Wielkość tych koncentracji uzależniona jest od źródła wydzielania metanu do wyrobiska ścianowego. Technologia odmetanowania polega na wytworzeniu podciśnienia w sieci rurociągów odmetanowania oraz wokół otworu drenażowego. Wówczas metan wydzielający się z pokładów lub skał płonnych kierowany jest do otworów drenażowych a nie do wyrobiska ścianowego. Stosowanie odmetanowania przyczynia się do obniżenia stężenia metanu w obszarze wykonanych otworów drenażowych.



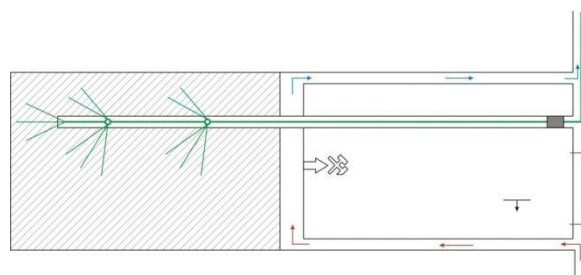
Schemat odmetanowania ściany dla systemu przewietrzania U



Schemat odmetanowania ściany dla systemu przewietrzania Y



Schemat odmetanowania ściany dla systemu przewietrzania z podwójnym chodnikiem wentylacyjnym



Schemat odmetanowania z chodnikiem drenażowym

Stan zagrożenia metanowego w rejonie wyrobisk

Zwiększanie głębokości eksploatacji związane jest ze wzrostem zagrożeń naturalnych. W pokładach zalegających na większych głębokościach mamy do czynienia z występowaniem zagrożeń skojarzonych (pożarowe, tąpnięcia, temperaturowe i metanowe).

Wśród występujących zagrożeń naturalnych najbardziej istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa wentylacyjnego jest zagrożenie metanowe i pożarowe. W zależności od charakteru wypełnienia zrobów metanem w przypadku pozostawienia węgla w zawale może dochodzić do zapalenia metanu. W przypadku stałego dopływu metanu z górotworu i niezmiennego sposobu przewietrzania jego rozkład w zrobach w czasie eksploatacji ulega wolnym zmianom.

Zagrożenie metanowe wzrasta ze zwiększającą się głębokością prowadzonych robót eksploatacyjnych. Czynnikiem, który kształtuje w zasadniczy sposób wielkość wydzielania metanu, jest koncentracja wydobywania.

System przewietrzania U od granic pola eksploatacyjnego jest stosowany w ścianach przy I i II kategorii zagrożenia metanowego, zaś przy III i IV kategorii może być stosowany w połączeniu z efektywnym odmetanowaniem. W systemie przewietrzania U od granic pola eksploatacyjnego powietrze jest prowadzone chodnikiem wzdłuż calizny węglowej. Po przewietrzaniu ściany powietrze jest odprowadzane chodnikiem również wzdłuż calizny węglowej. Przy zastosowaniu tego systemu zakres robót przygotowawczych jest ograniczony a przed rozpoczęciem eksploatacji można rozpoznać pokład w polu eksploataowanej ściany.

Czynniki wpływającymi na rozwój systemu przewietrzania są występujące zagrożenia, szczególnie zagrożenie metanowe. System ten ogranicza możliwość zwalczania dużego zagrożenia metanowego, poprzez brak możliwości zastosowania skutecznego odmetanowania. Szczególnie trudne jest zwalczanie zagrożenia metanowego w pokładach o małej miąższości. Wówczas występują trudności w doprowadzeniu odpowiedniej ilości powietrza do frontu ściany. Na zagrożenie temperaturowe na froncie ściany ma pewien wpływ ciepło wynoszone ze zrobów.

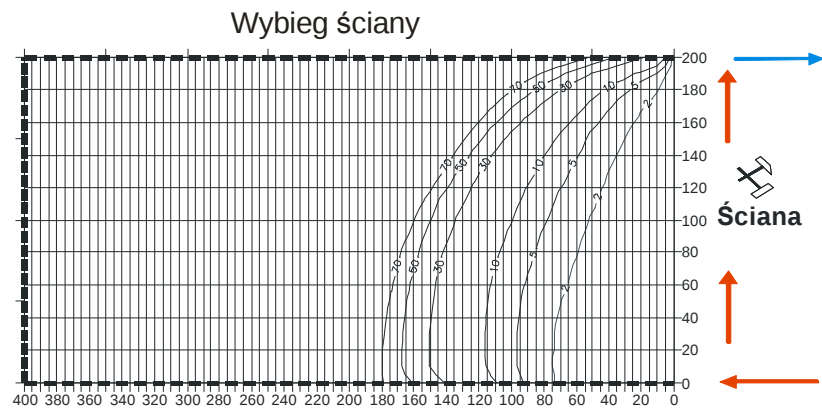
W przypadku skomplikowanej tektoniki pokładu i zaburzeń geologicznych występują trudności w uzyskaniu takiego postępu ściany, który gwarantuje minimalizację zagrożenia pożarowego. Omawiany sposób przewietrzania zapewnia ograniczony przepływ powietrza przez zrob ściany i zmniejsza zagrożenie pożarowe jedynie w przypadku odpowiedniego postępu eksploatacji ściany. System ten jest skuteczny w ograniczeniu procesu rozwoju samozagrzewania w zrobach ściany. Jednak w przypadku, kiedy występuje zagrożenie pożarowe w zrobach ściany możliwości jego zwalczania są ograniczone.

Obliczenia rozkładu prędkości przepływu powietrza i stężenia metanu w zrobach

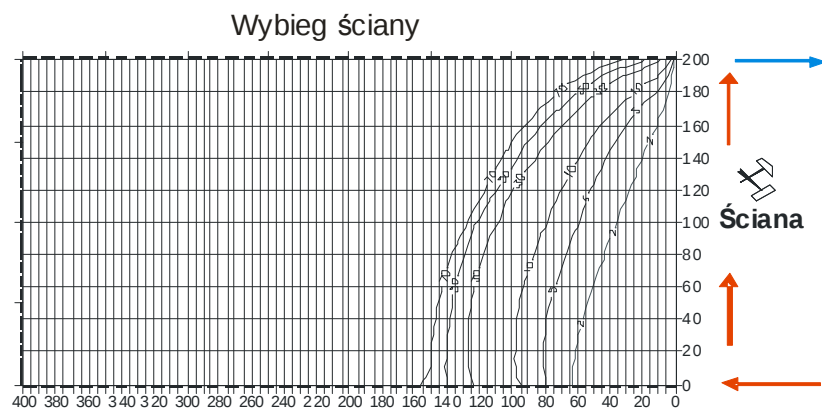
Na poniższych rysunkach przedstawiono wyniki obliczeń rozkładu prędkości dla różnych systemów przewietrzania ściany (U-od granic, Y) położonej w identycznych warunkach geologicznych, charakteryzujących się jednakowym oporem rozwarstwienia skał stropowych, jednakową wartością straty naporu w rejonie przewietrzanej ściany oraz jednakowymi parametrami geometrycznymi (długość ściany 200 m, wybieg ściany 400 m, wysokość ściany 2,5 m). W przypadku systemu U od granic do wyrobiska ścianowego dopływa 1800 m³/min powietrza, a w przypadku systemu Y przez front ściany przepływa 1500 m³/min i chodnikiem doświeżającym do skrzyżowania ściany dopływa 300 m³/min.

Na rysunkach przedstawiono mapę izolinii rozkładu stężenia metanu w obszarze zrobów ściany przewietrzanej systemem U - od granic. Obliczenia izolinii stężenia metanu dokonano dla czterech stanów różniących się dopływem metanu do środowiska ściany. Takie przedstawienie wyników obliczeń umożliwia dokonanie oceny intensywności wydzielania metanu ze zrobów, określenie w zrobach zawałowych stref o podwyższonym stężeniu metanu oraz przyjęcie odpowiedniej profilaktyki zwalczania zagrożenia metanowego.

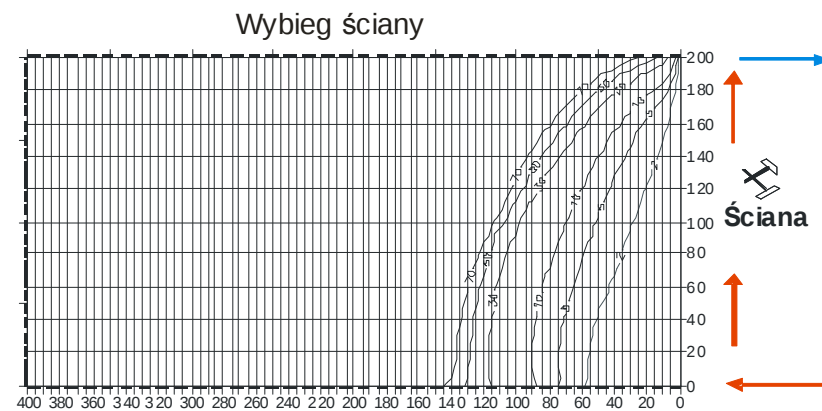
a)



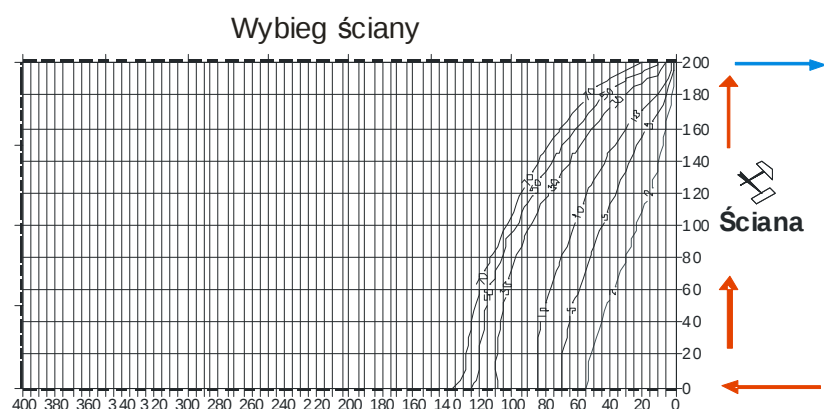
b)



c)



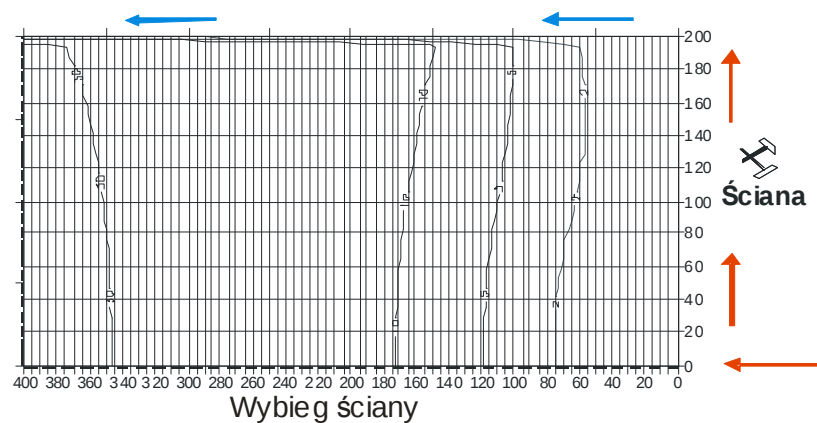
d)



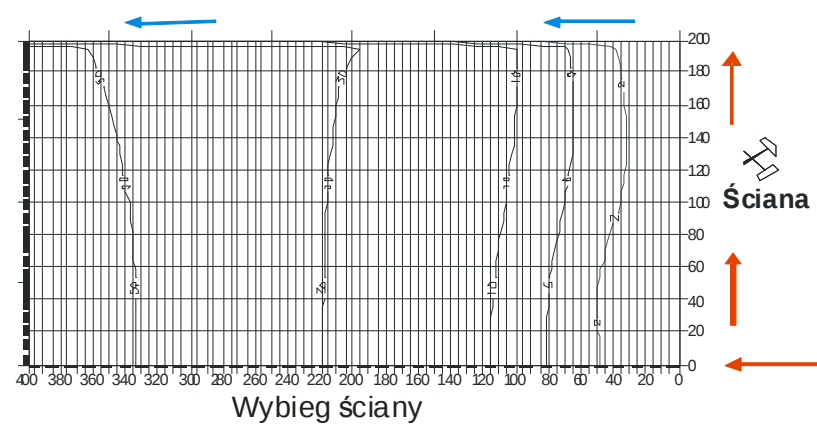
Mapa izolinii stężenia metanu w zrobach przy przewietrzaniu ściany systemem U - od granic:

- a) wydzielanie metanu w wielkości 5,4 m³/min przy jego stężeniu na wylocie ściany 0,3%,
- b) wydzielanie metanu w wielkości 10,8 m³/min przy jego stężeniu na wylocie ściany 0,6%,
- c) wydzielanie metanu w wielkości 14,4 m³/min przy jego stężeniu na wylocie ściany 0,8%,
- d) wydzielanie metanu w wielkości 19,8 m³/min przy jego stężeniu na wylocie ściany 1,1%,

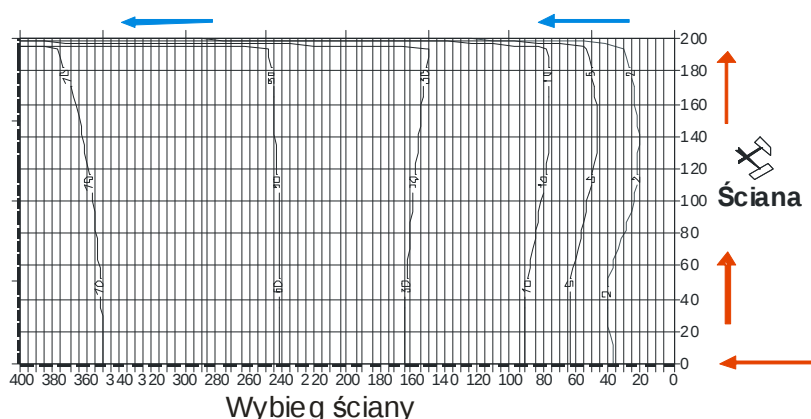
a)



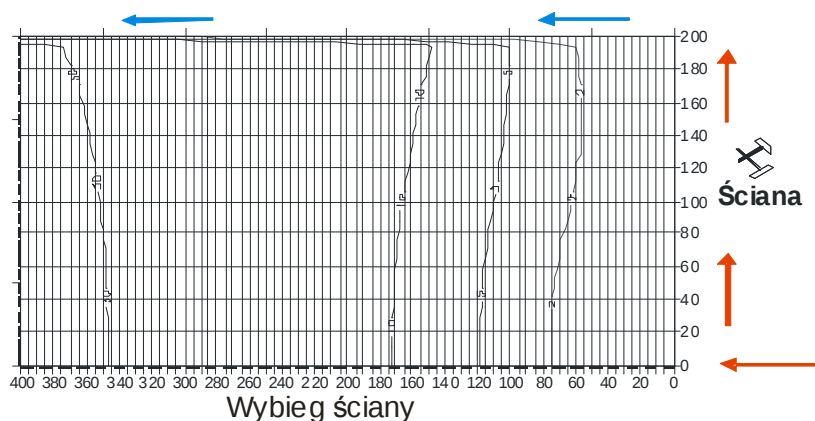
b)



c)



d)



Mapa izolinii stężenia metanu w zrobach przy przewietrzaniu ściany systemem Y - od granic

a) wydzielanie metanu w wielkości $5,4 \text{ m}^3/\text{min}$ przy jego stężeniu na wylocie ściany $0,3\%$,

b) wydzielanie metanu w wielkości $9,0 \text{ m}^3/\text{min}$ przy jego stężeniu na wylocie ściany $0,5\%$,

c) wydzielanie metanu w wielkości $14,4 \text{ m}^3/\text{min}$ przy jego stężeniu na wylocie ściany $0,8\%$,

d) wydzielanie metanu w wielkości $19,8 \text{ m}^3/\text{min}$ przy jego stężeniu na wylocie ściany $1,1\%$,

Z zamieszczonych obliczeń wynika, że w przypadku systemu przewietrzania ścian na U od granic przy wydzielaniu metanu do wyrobiska ścianowego na poziomie $15 \text{ m}^3/\text{min}$ następuje wzrost stężenia metanu w zrobach na znacznej długości końcowego odcinka ściany. Analiza wyników obliczeń wskazuje, że dla warunków przedstawionych w przykładzie obliczeniowym maksymalne wydzielanie metanu do ściany powinno się zawierać w przedziale $10\text{-}15 \text{ m}^3/\text{min}$ i nie powinno przekraczać wartości $15 \text{ m}^3/\text{min}$.

Natomiast w przypadku systemu Y od granic strefa podwyższonych stężeń metanu jest odsunięta od kanału ściany i wydzielanie metanu do wyrobiska ścianowego może przy tej ilości powietrza przekraczać $20 \text{ m}^3/\text{min}$.

Dla profilaktyki przeciwpożarowej istotne znaczenie ma takie rozprzowanie powietrza, przy którym jego przenikanie przez zrob jest skutecznie ograniczone. Dlatego kierunek wybierania ścian powinien być taki, aby co najmniej jeden z chodników przyścianowych można było rabować, podsadzać lub tamować za frontem ściany.

Również zwalczanie zagrożenia metanowego ściśle związane jest z doбором odpowiedniego systemu przewietrzania. Na etapie projektowania rozkładki niezbędne jest przeanalizowanie skali zagrożenia metanowego i dobranie odpowiedniego systemu zapewniającego wymaganą efektywność odmetanowania.

Z zamieszczonych rozważań wynika, że w przypadku systemu przewietrzania ścian na U od granic przy wydzielaniu metanu do wyrobiska ścianowego na poziomie $15 \text{ m}^3/\text{min}$ następuje wzrost stężenia metanu w zrobach na znacznej długości końcowego odcinka ściany.

Z przeprowadzonych symulacji wynika, że ocenę stanu zagrożenia metanowego w zrobach ścian zawalowych jak i w rejonie skrzyżowania ściany z chodnikiem można przeprowadzić w oparciu o pomiar średniego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego.

Kryteria pobierania prób powietrza ze zrobów

Dla miejsc o największym zagrożeniu metanowym i pożarowym możliwe jest zaprojektowanie systemu monitoringu zgodnego z obowiązującymi przepisami i zarazem obrazującego faktyczny stan zagrożenia metanowego lub pożarowego przy wykorzystaniu różnych metod umożliwiających określenie rozkładu stężenia metanu i rozptyłu powietrza w zrobach.

W polskich kopalniach węgla kamiennego ocena stanu zagrożenia metanowego jest prowadzona w oparciu o 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 (stan prawny na dzień 14.08.2010 r.).

Podstawowe zasady kontroli atmosfery w zrobach w rejonie ścian winny być oparte o następujące założenia.

- W chodniku nadścianowym odprowadzającym powietrze ze ściany zabudowany powinien być tlenomierz automatyczny, rejestrująco – alarmujący.
- Rejon winien być zabezpieczony czujnikami metanowymi wyłączająco – rejestrującymi w systemie metanometrii automatycznej.
- Należy pobierać próby gazowe do analizy chromatograficznej ze zrobów w odległości od 10 do 100 m za frontem ściany poprzez pozostawianie linii pomiarowych w zrobach.
- Prowadzić należy pomiary metanu metanomierzami indywidualnymi zgodnie z obowiązującymi instrukcjami kopalnianymi.
- Prowadzić należy pomiary stężenia tlenu indywidualnym analizatorem tlenu.

Próby powietrza ze zrobów pobierane będą za pomocą zabezpieczonych linii węzowych pozostawianych w likwidowanym chodniku nadścianowym. Przykładowy sposób rozmieszczenia linii węzowych pokazano na rysunku.

Niezależnie od powyższych działań należy prowadzić profilaktykę bieżącą związaną z:

- prowadzeniem wczesnego wykrywania pożarów endogenicznych z rejonu ściany zgodnie z obowiązującymi przepisami,
- stosowaniem monitoringu zagrożenia pożarowego za pomocą czujników CO-metii automatycznej oraz ilości przepływającego powietrza,
- bieżącym analizowaniu wyników pomiarów zawartości gazów.

W przypadku wzrostu zagrożenia pożarowego, metanowego lub nagłego wystąpienia zjawisk wskazujących na nasilenie tych zagrożeń należy opracować na bieżąco dodatkowe działania profilaktyczne.

Podane wartości współczynnika przepuszczalności pozwalają na dokonanie oceny rozkładu stężenia metanu w zrobach za przesuwanym się frontem ściany. Natomiast w przypadku przemulania lub podsadzania zrobów uzyskuje się zmianę współczynnika przepuszczalności zrobów. Wartość przepuszczalności zrobów po podaniu podsadzki jest trudna do określenia z uwagi na sposób podania materiału uszczelniającego. W tym przypadku niezbędne jest określenie zakresu podsadzenia zrobów i na tej podstawie dokonanie oceny zjawisk zachodzących w zrobach.

Etap nr 14

Opracowanie wytycznych i zasad pomiarów i badań parametrów powietrza kopalnianego dla oceny zagrożenia metanowego w wyrobiskach kopalni i zrobach wraz z ich doświadczalną weryfikacją

Cel etapu i metoda badawcza

Celem niniejszego etapu badań było przeprowadzenie weryfikacji kryteriów wykonywania pomiarów i badań powietrza kopalnianego dla oceny zagrożenia metanowego. Weryfikacja prowadzona była w ścianach eksploatacyjnych w warunkach dużego zagrożenia metanowego. Wyniki pomiarów podlegały obróbce statystycznej. W tym etapie wykorzystano metodę eksperymentalną oraz metody statystyczne do opracowania wyników badań. Wykorzystując taką metodę wykazana została skuteczność aktualnie stosowanych metod oceny zagrożenia metanowego w polskich kopalniach. Rozważania poparte są obliczeniami symulacyjnymi.

Wyniki badań

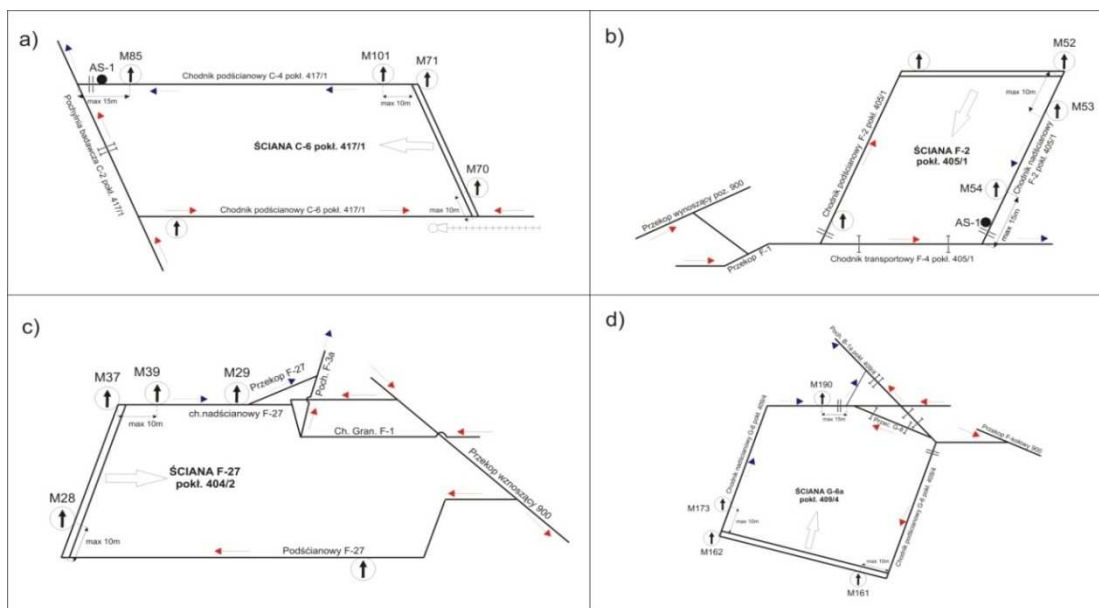
Wydzielanie metanu podczas wybierania ściany następuje z różnych źródeł, których lokalizacja oraz wielkość dopływu decyduje o kształtowaniu się zagrożenia oraz doborze profilaktyki. Głównym źródłem występowania metanu są pokłady węgla, gdyż metan jest gazem związanym ściśle z procesami uwęglenia i powstawania złóż węgla. Stopień nasycenia pokładów węgla metanem zależy jednak od wielu czynników, przede wszystkim od obecności lub braku nieprzepuszczalnych, izolujących warstw skalnych w nadkładzie, nie pozwalających lub pozwalających na odgazowanie się i swobodny odpływ metanu z pokładu węgla do skał otaczających. Stąd w górnictwie węgla spotykany jest bardzo zróżnicowany stopień nasycenia pokładów węgla od niemietanowych zawierających tylko śladowe jego ilości – tam, gdzie brak jest nadkładu izolującego, do bardzo silnie metanowych pokładów – występujących w otoczeniu nieprzepuszczalnych ilowców lub łupków ilastych.

W ramach tego etapu badań zostały przeprowadzone badania w wyrobiskach górniczych mające na celu weryfikację metod oznaczania stanu zagrożenia metanowego w wyrobiskach ścianowych. Weryfikacja została dokonana na podstawie pomiarów w przekrojach wyrobisk oraz w zrobach w ramach zabudowanych linii węzowych w wybranych ścianach.

Pierwsza część dotyczy ustalenia zależności między wydobyciem a metanowością wentylacyjną, całkowitą i odmetanowaniem. Wydzielanie metanu do wyrobisk ścianowych uzależnione jest od rozkładu stężenia metanu w zrobach eksploatowanych ścian. Druga część badań dotyczy ustalenia zależności między stężeniem w zrobach a stężeniem metanu w wyrobiskach z prądem opływowym.

Charakterystyka analizowanych wyrobisk ścianowych

Pomiary przeprowadzono w 4 wyrobiskach ścianowych w kopalni charakteryzującej się dużym zagrożeniem metanowym. Parametry charakteryzujące wyrobiska ścianowe, w których prowadzono pomiary zestawiono w tablicy nr 1. Wydobyte średnie w ciągu doby zmieniało się od 1810 do 2020 Mg, natomiast maksymalne wydobyte w ciągu doby dochodziło do 3740 Mg. Metanowość całkowita zawierała się w przedziale od 4,44 do 31,95 m³/min. Ściany były przewietrzane systemem U a ich schematy przewietrzania przedstawiono na rysunku 1. Okres badań w poszczególnych ścianach również był różny i zawierał się od 153 do 234 dni.



Rys. 1. Schematy przewietrzania badanych ścian: a) ściana C-6, b) ściana F-2, c) ściana F-27, d) ściana G-6a

Tablica 1. Parametry wyrobisk ścianowych objętych pomiarami

Lp.	Wyszczególnienie	Opis i parametry wyrobisk ścianowych			
1	Kopalnia	X	X	X	X
2	Nr ściany	C-6	F-2	F-27	G-6a
3	Pokład	417/1	405/1	404/2	409/4
4	Miaższość pokładu, m	1,55-2,6	2,0-2,32	1,85-2,2	3,00
5	Długość ściany, m	210	190	210	220
6	Wybieg, m	460	400	520	220
7	Głębokość eksploatacji, m	817-908	870-880	725-765	886-938
8	Skały stropowe	łupek ilasty, piaszczysty	łupek ilasty, piaszczysty	łupek ilasty, piaszczysty	łupek ilasty, piaszczysty
9	Skały spagowe	łupek piaszczysty, piaskowiec	łupek ilasty, piaszczysty	łupek ilasty, piaszczysty	łupek ilasty, piaszczysty
10	Wydobycie, maksymalne, Mg/d	3730	3740	3530	3120
11	Wydobycie, średnie, Mg/d	1810	1520	2020	1450
12	Metanowość wentylacyjna, średnia, m ³ /min	4,44	14,49	20,38	19,91
13	Odmetanowanie, średnie, m ³ /min	0,00	6,82	11,57	11,73
14	Metanowość całkowita, m ³ /min	4,44	21,31	31,95	31,64

15	Sposób kierowania stropem	Zawał	Zawał	Zawał	Zawał
16	Sposób przewietrzania	U	U	U	U
17	Eksploatacja w strefie odprężonej/nieodprężonej	w odl. 60m, pokład 415/3-4	w odl. 50m, pokład 404/4	w odl. 55m, pokład 403/1	w odl. 150m, pokład 407/1
18	Sąsiedztwo zrobów w pokładzie eksploatowanym	nie	nie	tak	tak
19	Kierunek eksploatacji od granic/ do granic	od granic	od granic	od granic	od granic
20	Liczba dni	234	153	139	188
21	Stan eksploatacji	w trakcie	w trakcie	w trakcie	w trakcie

Metodyka prowadzonych badań

Pomiary stężenia metanu w określonych przekrojach pomiarowych wyrobiska obejmowały:

- wlot do ściany – 10 metrów za skrzyżowaniem,
- wylot ze ściany - 10m przed końcem, nad napędem lub 10 m za wylotem ze ściany w chodniku nadścianowym,
- wylot z rejonu ściany – 10 m przed pochylnią.

Do pomiaru stężenia metanu wykorzystywano zabudowane czujniki metanometrii automatycznej. Niezależnie od tych pomiarów wykonywano pomiar prędkości przepływu powietrza i określano postęp lub wielkość wydobywania ze ściany. Schemat lokalizacji punktów pomiarowych stężenia metanu przedstawiono na rysunku 1. Czujniki, z których określano stężenia metanu i prędkość powietrza były okresowo sprawdzane i ich wskazania porównywano z pomiarami wykonywanymi w przekroju wyrobiska. Na podstawie uzyskanych wskazań metanometrii określano średnie stężenia dla całej doby.

Dane zostały zgromadzone w obszernych zbiorach, a w oparciu o program komputerowy „Statistica” zostały wyznaczone średnie wartości według zależności:

$$c_{sr} = \frac{\sum c_i}{n}$$

gdzie:

c_i – zmierzone stężenie metanu z czujnika metanometrycznego,

n – ilość pomiarów stężenia metanu w trakcie doby.

Średnie dobowe stężenie metanu zostało obliczone jako średnia ważona, przy czym wagami są czasy pomiaru jednakowych wartości stężenia. Jeżeli przez n oznaczyć liczbę rekordów zapisu stężenia metanu w dobie, przez C_i wartości chwilowych stężeń zapisanych w poszczególnych rekordach, a czas trwania stężenia C_i przez t_i (w sekundach), to średnie dobowe stężenie metanu C_{sr} jest określone wzorem:

$$C_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i t_i}{86400}$$

Liczba 86400 jest liczbą sekund w dobie.

Tak uzyskane wyniki pozwoliły na określenie przyrostu ilości wydzielającego się metanu do wyrobiska ścianowego. Niezależnie od tych pomiarów na bieżąco kontrolowano ilość metanu ujmowanego odmetanowaniem.

Ocena zmian parametrów charakteryzujących stan zagrożenia metanowego w ścianach eksploatacyjnych

Dla każdej badanej ściany przeprowadzono ocenę statystyczną parametrów takich jak: metanowość wentylacyjna, ilość metanu ujmowanego odmetanowaniem, metanowość całkowita i

postęp ściany. Dla otrzymania obiektywnego obrazu wpływu postępu ściany na metanowość, w pracy wykorzystano model probabilistyczny rozkładu tych parametrów na podstawie wyników obliczeń.

Podstawową cechą badań zależności pomiędzy zmiennymi na podstawie prób losowych jest własność *siły* (wielkość) i *istotność* (wiarygodność) relacji. *Siła* wyraża możliwość przewidywania kształtowania się jednej zmiennej na podstawie drugiej. Natomiast *istotność* informuje o tym, jakie jest prawdopodobieństwo wyznaczenia wartości badanego parametru przy pomiarze w tej samej populacji. Ocena *siły* relacji pomiędzy zmiennymi polega na zbadaniu zróżnicowania wartości badanych zmiennych, a następnie na obliczeniu, jaka część tej ogólnie dostępnej zmienności może być przypisana faktowi, że jest ona wspólna dla dwóch lub więcej badanych zmiennych.

Należy zaznaczyć, że *istotność* zależy przede wszystkim od liczności próbki. Na podstawie bardzo licznej próbki nawet bardzo słaba zależność może być uznana za istotną, podczas gdy małe próbki nie pozwalają na ocenę wiarygodności nawet bardzo silnych zależności. Stąd określa się funkcję, która podaje wartości poziomu istotności informującego nas o prawdopodobieństwie błędu polegającego na odrzuceniu hipotezy, że zależność, którą badamy nie występuje w populacji generalnej. Ta hipoteza (brak zależności w populacji generalnej) nazywana jest w statystyce hipotezą zerową. W znacznej ilości przypadków znamy kształt tej funkcji i możemy go użyć do obliczania poziomów istotności dla różnych liczebności próbek. Większość tych funkcji jest związana z ogólnym typem funkcji zwanej normalną.

W celu określenia zależności pomiędzy wartością metanowości wentylacyjnej, odmetanowaniem i metanowości całkowitej a postępowaniem ściany sprawdzono kształt rozkładu analizowanych zmiennych w oparciu o test normalności Kołmogorowa-Smirnowa. Test Kołmogorowa-Smirnowa dla jednej próby, do oceny zgodności rozkładu z rozkładem normalnym wykorzystuje maksymalną wartość różnicy między dystrybuantą z próby, a założoną dystrybuantą. Jeżeli wartość prawdopodobieństwa testowego jest mniejsza od przyjętego poziomu istotności, to hipotezę, że badany rozkład jest zgodny z normalnym należy odrzucić. Wyniki testu normalności metanowości całkowitej, metanowości wentylacyjnej i postępu w trakcie prowadzenia ścian, przedstawiono poniżej w tablicy 2.

Tablica. 2. Wyniki testu normalności Kołmogorowa-Smirnowa

Analizowany przypadek	Wyszczególnienie	Błąd standardowy	Statystyka t	Liczba stopni swobody df	Prawdopodobieństwo	Statystycznie
a) Ściana C-6 (ściana prowadzona bez odmetanowania)	metanowość całkowita, m ³ /min	0,09	43,68	109,00	1,00	istotne
	postęp ścian, m/d	0,13	31,86	109,00	1,00	istotne
b) Ściana F-2	metanowość wentylacyjna, m ³ /min	0,36	22,18	84,00	1,00	istotne
	odmetanowanie, m ³ /min	0,19	36,36	84,00	1,00	istotne
	metanowość całkowita, m ³ /min	0,52	28,57	84,00	1,00	istotne
	postęp ścian, m/d	0,14	18,44	84,00	1,00	istotne
c) Ściana F-27	metanowość wentylacyjna, m ³ /min	0,26	32,41	95,00	1,00	istotne
	odmetanowanie, m ³ /min	0,26	41,53	95,00	1,00	istotne
	metanowość całkowita, m ³ /min	0,46	42,05	95,00	1,00	istotne
	postęp ścian, m/d	0,17	24,36	95,00	1,00	istotne
d) Ściana G-6a	metanowość wentylacyjna, m ³ /min	0,29	22,97	100,00	1,00	istotne
	odmetanowanie, m ³ /min	0,35	29,86	100,00	1,00	istotne

	metanowość całkowita, m ³ /min	0,59	29,41	100,00	1,00	istotne
	postęp ścian, m/d	0,09	21,24	100,00	1,00	istotne

Analizując otrzymane wyniki z całą pewnością można stwierdzić, że metanowość wentylacyjna, odmetanowanie, metanowość całkowita oraz postęp ścian podlegają rozkładowi normalnemu na przyjętym poziomie istotności równym 0,05. Zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy, że wymienione parametry podlegają rozkładowi normalnemu. Przyjęte poziomy istotności są ważne, gdyż wówczas można określić błąd popełniony przy badaniu zależności pomiędzy rozpatrywanymi zmiennymi w odniesieniu do tych zależności w całej populacji. W dalszej części dokonano oszacowania ilościowego wpływu wszystkich czynników, które mogą być połączone zależnością statystyczną zwaną korelacyjną lub zależnością funkcyjną.

W tablicy 3 zamieszczono wyniki obliczeń współczynników korelacji parametrów charakteryzujących zagrożenie metanowe w ścianach badanych. Liczbowo natężenie współzależności zmiennych wyraża się najczęściej poprzez współczynnik korelacji liniowej Pearsona r_{xy} . Dla określenia współzależności na podstawie losowych prób dwóch zmiennych x , y współczynnik ten wyraża się wzorem:

$$r_{xy} = \frac{\text{cov}(x, y)}{S_x S_y} \quad (1)$$

gdzie:

$\text{cov}(x, y)$ - kowariancja wyraża się wzorem:

$$\text{cov}(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i - \bar{x} \bar{y} \quad (2)$$

$\bar{x}$, $\bar{y}$ - średnia arytmetyczna z próby o licznosci n

S_x , S_y - odchylenia standardowe zmiennych x i y

Współczynnik ten przyjmować może wartości dodatnie i ujemne. Znak współczynnika korelacji mówi o kierunku zależności. W analizie statystycznej zwykle przyjmuje się następującą skalę korelacji pomiędzy zmiennymi:

$r(x, y) = 0$	brak korelacji,
$0 < r(x, y) < 0,1$	korelacja nikła,
$0,1 < r(x, y) < 0,3$	korelacja słaba,
$0,3 < r(x, y) < 0,5$	korelacja przeciętna,
$0,5 < r(x, y) < 0,7$	korelacja wysoka,
$0,7 < r(x, y) < 0,9$	korelacja bardzo wysoka,
$0,9 < r(x, y) < 1$	korelacja pełna,

Występowanie korelacji na podstawie analizy wyników pomiarowych nie uogólnia wnioskowania statystycznego o identycznej zależności w całej populacji (rzeczywistości). W celu potwierdzenia takiego faktu stosuje się test istotności współczynnika korelacji liniowej Pearsona. Wówczas weryfikuje się hipotezę zerową ze współczynnikiem korelacji, który jest równy zero. Weryfikację tą przeprowadza się w oparciu o statystykę t przedstawioną wzorem:

$$t = \frac{r(x, y)}{\sqrt{1 - r^2(x, y)}} \sqrt{n - 2} \quad (3)$$

Wartość statystyki nie powinna się różnić od zera, czyli obszar krytyczny wyznacza się z relacji prawdopodobieństwa.:

$$P(|t| \geq t_{\text{krytyczne}}) = \alpha$$

Jeżeli wartość statystyki t jest większa od obszaru krytycznego na przyjętym poziomie istotności α to hipotezę zerową odrzuca się na korzyść hipotezy, iż współczynnik korelacji jest różny od zera. W tablicy 3 zamieszczono wyznaczone wartości współczynnika korelacji $r(x, y)$. Poniżej pod wartością współczynnika podano współczynnik determinacji, który stanowi miarę dokładności dopasowania zależności liniowej i informuje o ilości wyjaśnionej zależności pomiędzy zmiennymi poprzez korelację liniową i obliczany jest z zależności:

$$R_d = (r(x, y))^2 \quad (4)$$

W kolejnych wierszach podano wartość statystyki t oraz prawdopodobieństwo i określenie istotności statystycznej badanego parametru.

Tablica 3. Współczynniki korelacji Pearsona pomiędzy metanowością wentylacyjną, odmetanowaniem, metanowością całkowitą a postępowaniem ściany

Analizowany przypadek	Wyszczególnienie	$r(x,y)$	R_d	Statystyka t	Prawdopodobieństwo	Statystycznie
a) Ściana C-6 (ściana prowadzona bez odmetanowania)	metanowość całkowita	0,58	0,34	7,45	1,00	istotne
b) Ściana F-2	metanowość wentylacyjna	0,76	0,57	10,51	1,00	istotne
	odmetanowanie	0,58	0,33	6,42	1,00	istotne
	metanowość całkowita	0,73	0,54	9,82	1,00	istotne
c) Ściana F-27	metanowość wentylacyjna	0,73	0,53	10,33	1,00	istotne
	odmetanowanie	0,54	0,29	6,15	1,00	istotne
	metanowość całkowita	0,72	0,52	10,02	1,00	istotne
d) Ściana G-6a	metanowość wentylacyjna	0,63	0,40	8,07	1,00	istotne
	odmetanowanie	0,66	0,44	8,76	1,00	istotne
	metanowość całkowita	0,71	0,51	10,08	1,00	istotne

Analizując zamieszczone wyniki należy zauważyć, że w ścianach występuje wysoka korelacja pomiędzy metanowością wentylacyjną i całkowitą a postępowaniem ściany. We wszystkich przypadkach korelacje były dodatnie, co oznacza, że wraz ze wzrostem postępu następuje wzrost metanowości wentylacyjnej, odmetanowania i metanowości całkowitej.

Na podstawie współczynnika determinacji można powiedzieć, że w rozważanych przypadkach, co najmniej w połowie wyników (około 50%) metanowość wentylacyjna, odmetanowanie i metanowość całkowita może zostać wytłumaczona liniowo wpływem postępu ściany, przy czym można to stwierdzenie przyjąć z prawdopodobieństwem bliskim 100%.

Należy dodać, że brak bardzo wysokich czy pełnych korelacji oznacza, że badane parametry nie w pełni wykazują zależność liniową, niemniej jednak mogą istnieć inne powiązania funkcyjne. Ze względu na złożony charakter zjawisk zachodzących w trakcie prowadzonej eksploatacji nie można jednoznacznie wykazać pełnych powiązań. Jednak interpretacja wyników pozwala na stwierdzenie, że wpływ postępu ściany na wydzielanie metanu wynosi od 30 do 70% w zależności od rozważanego przypadku. Zatem inne czynniki np. geologiczne, których nie uwzględniono w rozważaniach będą miały pozostały udział w poziomie zagrożenia metanowego.

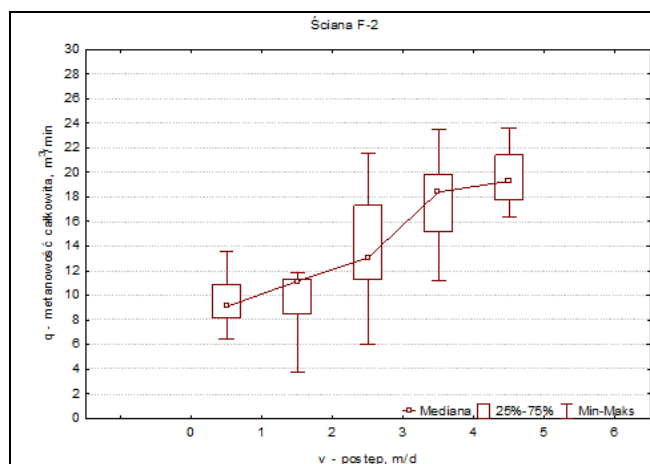
Przedstawione wyniki analizy potwierdzają dotychczasowe obserwacje o charakterze jakościowym uzyskiwane w warunkach ruchowych eksploatowanych ścian.

W celu określenia wpływu postępu na wydzielanie metanu wyniki zobrazowano w postaci wykresów ramkowych. Wykres typu ramka-wąsy opisuje tendencję centralną każdej kategorii zmiennej w kategoriach mediany wartości danej zmiennej (reprezentowanej przez najmniejszą ramkę na wykresie). Rozrzut (zmiennosc) wartości zmiennej jest reprezentowany na wykresie przez kwartyle (25. i 75. percentyl, większa ramka na wykresie) oraz wartości minimalną i maksymalną zmiennej („wąsy” na wykresie).

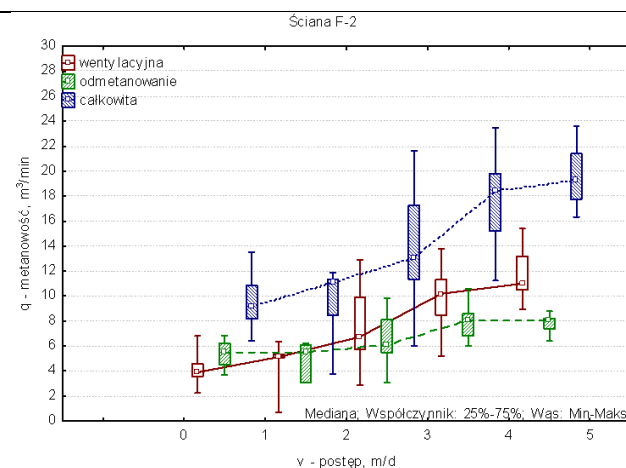
Jako zmienną grupującą (skategoryzowaną) wybrano postęp ściany a jako zmienne zależne na wykresie w jednym przypadku wybrano metanowość całkowitą w drugim metanowość wentylacyjną, odmetanowanie i metanowość całkowitą. Na rysunku dla każdej kategorii, zmienne zostały przesunięte i umieszczone względem siebie tak, żeby się nie nakładały wartości. Po połączeniu wartości

środkowych utworzony został skategoryzowany wykres liniowy median z wartościami percentyli i zakresami wartości zmiennych minimalnych i maksymalnych.

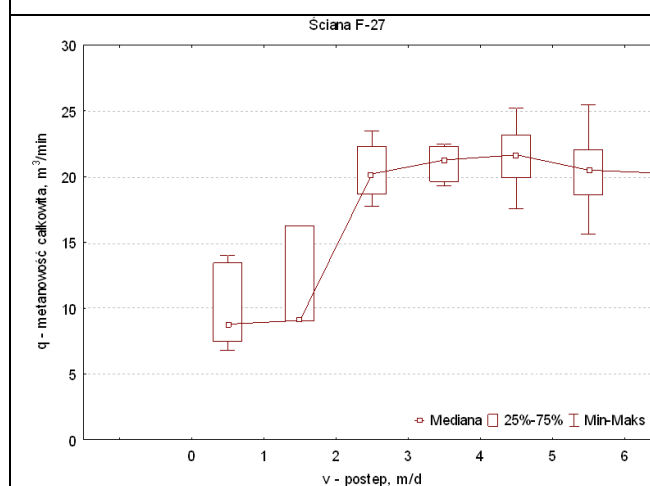
Na rysunkach 2a,3a i 4a w formie wykresu ramkowego, przedstawiono zmiany metanowości całkowitej w funkcji postępu dla badanych ścian. Z zamieszczonych rysunków i tablic wynika jednoznacznie, że metanowość całkowita wzrasta wraz ze wzrostem postępu ściany eksploatacyjnej. Natomiast na rysunkach 2b, 3b i 4b przedstawiono zmiany wydzielania metanu w ścianie (metanowość wentylacyjną, całkowitą oraz ilość ujmowanego metanu odmetanowaniem w formie wykresu ramkowego) w zależności od postępu ściany. W ścianie C-6 nie prowadzono odmetanowania i charakteryzowała się ona niską metanowością dlatego nie przedstawiono jej na poniższych rysunkach.



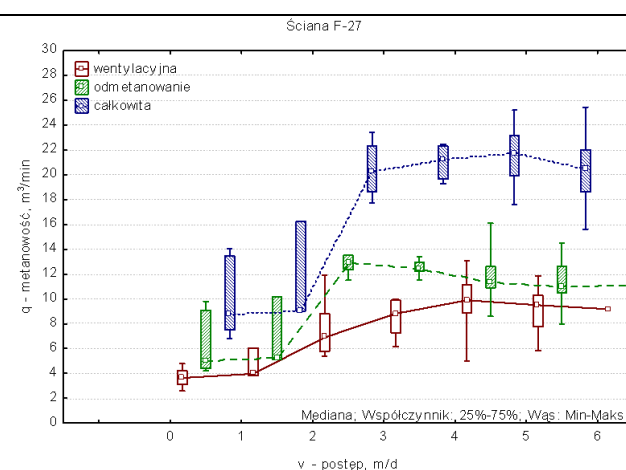
Rys. 2a. Zmiany metanowości całkowitej w ścianie F-2 w zależności od postępu ściany



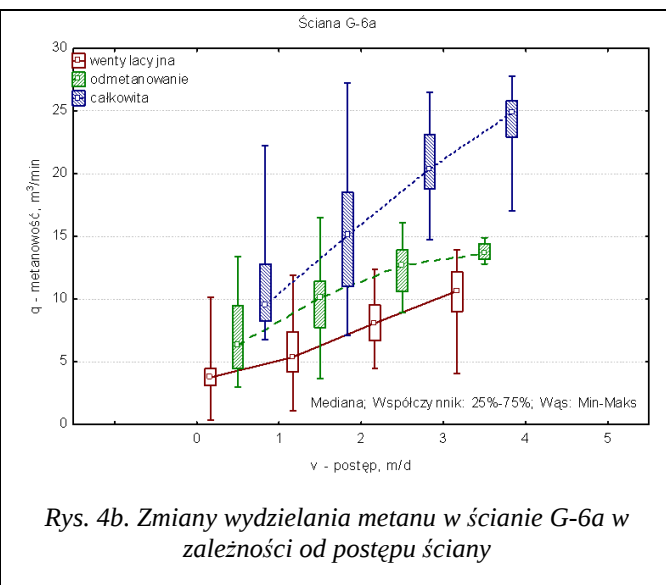
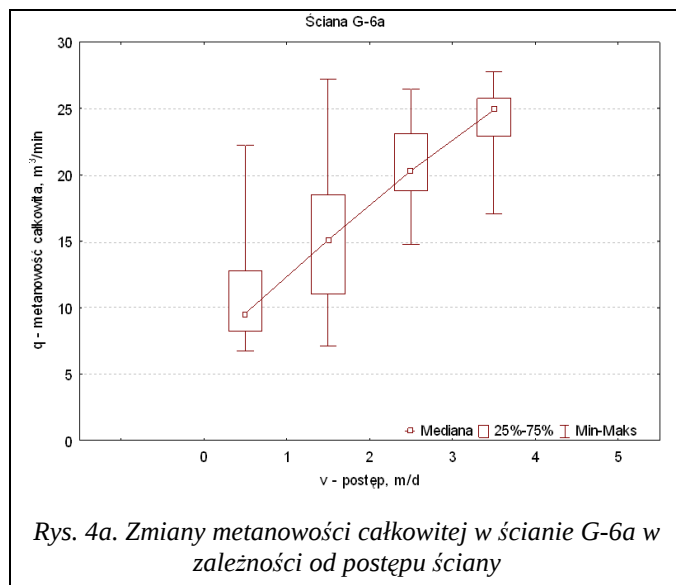
Rys. 2b. Zmiany wydzielania metanu w ścianie F-2 w zależności od postępu ściany



Rys. 3a. Zmiany metanowości całkowitej w ścianie F-27 w zależności od postępu ściany



Rys. 3b. Zmiany wydzielania metanu w ścianie F-27 w zależności od postępu ściany



Wpływ postępu ściany na wielkość wydzielania się metanu w wyrobisku ścianowym

Wyniki obliczeń przedstawione w poprzednim podrozdziale potwierdziły, że kształtowanie się metanowości całkowitej oraz pozostałych parametrów ściany na przyjętym poziomie istotności jest zgodne z modelem rozkładu normalnego. Zatem zależność pomiędzy dwoma zmiennymi podlegającymi rozkładowi normalnemu podlega zależności liniowej wyrażonej funkcją regresji liniowej I rodzaju:

$$y = A + B \cdot x \quad (5)$$

gdzie:

A - wyraz wolny - estymator współczynnika regresji liniowej

B - parametr regresji - estymator współczynnika kierunkowego regresji liniowej

Współczynniki A i B wyznacza się metodą najmniejszych kwadratów z zależności:

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

$$A = \bar{y} - B\bar{x} \quad (7)$$

Odchylenie standardowe estymatorów regresji liniowej określa się następująco:

$$S_B = \sqrt{\frac{\sigma_r^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \quad (8)$$

$$S_A = \sqrt{\frac{\sigma_r^2 \sum_{i=1}^n x_i^2}{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \quad (9)$$

gdzie: σ_r^2 stanowi wariancję reszt w metodzie najmniejszych kwadratów.

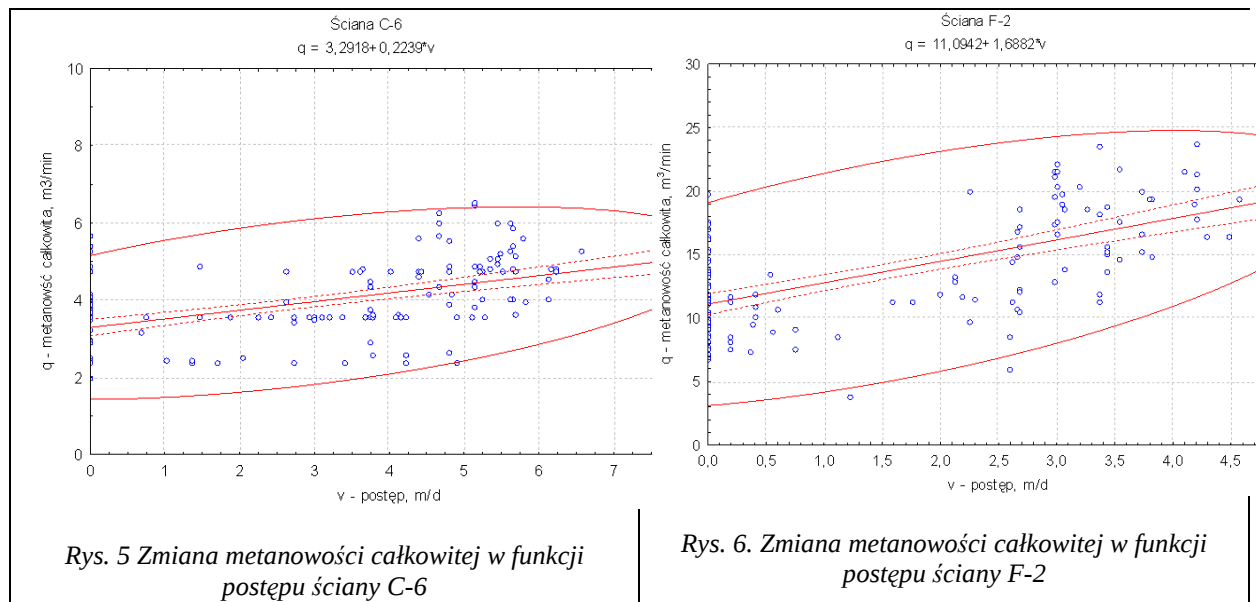
Odchylenia standardowe estymatorów stanowią miarę wielkości błędów losowych przy estymacji za pomocą wyznaczonych estymatorów. Na podstawie powyższych wzorów wyznaczono metodą najmniejszych kwadratów współczynniki regresji liniowej. Wyniki obliczeń zależności metanowości całkowitej od postępu ściany zamieszczono na kolejnych rysunkach. Na rysunkach 5 do 8 przedstawiono wykres rozrzutu wartości wyników metanowości całkowitej w zależności od postępu ściany. Na rysunkach zamieszczono również równania, które opisują zależność zmian metanowości całkowitej od postępu ściany. Liniami przerywanymi zaznaczono obszar, który stanowi 95% przedział ufności, co oznacza, że 5 przypadków na 100 nie będzie zgodne z wyznaczonym równaniem. Można uznać, że przedstawione graficzne zależności dobrze opisują zmiany rozważanych parametrów. W tablicy 4 przedstawiono wyznaczone współczynniki regresji liniowej. W oparciu o dane z tablicy 4 można napisać równanie opisujące zależność metanowości całkowitej w wyrobisku ścianowym od postępu ściany w postaci:

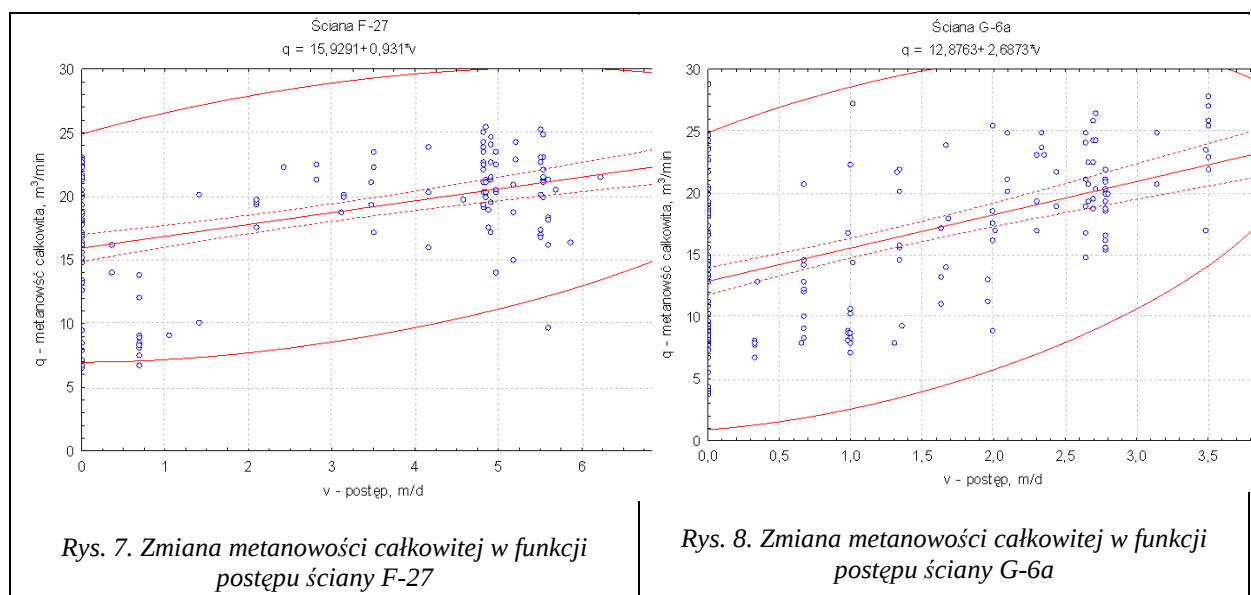
$$q = 14,97 + 1,20v \quad (10)$$

gdzie: q – metanowość całkowita ściany, m^3/min

v – postęp ściany, $\text{m}/\text{dobę}$.

Wielkości współczynników zostały wyznaczone dla średniego wydobywania ze ścian zbliżonego do 600 $\text{Mg}/\text{dobę}$ przy postępie $1\text{m}/\text{dobę}$.





Tablica 4. Wartości dopasowania współczynników równania regresji liniowej

Ścian a	Par ame tr	Wartość paramet ru	Błąd standard owy	Wartość t	poziom prawdop odobień stwa	Dolna granica ufności	Górn. granica ufności	Udział wyjaśn ionej warian cji R ²	r
C-6	A	0,224	0,030	7,547	1,000	0,165	0,282	0,260	0,510
F-2		1,688	0,188	8,990	1,000	1,317	2,060	0,374	0,612
F-27		0,931	0,147	6,342	1,000	0,641	1,221	0,226	0,475
G-6a		2,687	0,334	8,055	1,000	2,029	3,346	0,275	0,524
średnia		1,199	-	-	-	-	-	-	-
C-6	B	3,292	0,108	30,583	1,000	3,079	3,504	0,260	0,510
F-2		11,094	0,422	26,304	1,000	10,260	11,928	0,374	0,612
F-27		15,929	0,537	29,644	1,000	14,867	16,992	0,226	0,475
G-6a		12,876	0,559	23,020	1,000	11,772	13,980	0,275	0,524
średnia		14,97	-	-	-	-	-	-	-

Opracowanie wytycznych badań parametrów powietrza dla oceny zagrożenia metanowego

Z przeprowadzonych badań wynika, że wraz z postępowaniem ściany rośnie stężenie metanu na wylocie z rejonu ściany oraz metanowość bezwzględna ściany. Wydzielanie metanu do ściany jest silnie zróżnicowane zarówno w okresie dobowym, tygodniowym, a także w okresie eksploatacji całego pola ścianowego.

Przeprowadzone badania wskazują, że w większości ścian występuje wysoka korelacja pomiędzy metanowością wentylacyjną i całkowitą a postępowaniem ściany. Natomiast w ścianach o dużej

metanowości całkowitej równie silny jest związek pomiędzy odmetanowaniem a postępem ściany. We wszystkich przypadkach korelacje są dodatnie, co oznacza, że wraz ze wzrostem postępu następuje wzrost metanowości wentylacyjnej, odmetanowania i metanowości całkowitej.

Na podstawie współczynnika determinacji można powiedzieć, że w badanych ścianach, co najmniej połowa wyników (około 50%) metanowości wentylacyjnej, odmetanowania i metanowości całkowitej może zostać wytłumaczona liniowo wpływem postępu ściany, przy czym można to stwierdzenie przyjąć z prawdopodobieństwem bliskim 100%. Z porównania współczynnika R^2 udziału wyjaśnionej wariancji w tablicy 4 wynika, że zależność liniowa dobrze wyjaśnia wyniki uzyskane z pomiarów kopalnianych.

Jednak interpretacja wyników pozwala na stwierdzenie, że wpływ postępu ściany na wydzielanie metanu wynosi od 30 do 70% w zależności od rozważanego przypadku. Zatem inne czynniki np. geologiczne, których nie uwzględniono w rozważaniach będą miały pozostały udział w poziomie zagrożenia metanowego.

Przeprowadzone symulacje rozkładu stężenia metanu w zrobach ścian zawałowych wskazują, że maksymalne prędkości filtracji występują w narożach wlotu i wylotu ściany. W głąb zrobów prędkość filtracji maleje i zależy od rodzaju skał tworzących zawał. Obszar zrobów zagrożonych procesem samozapalenia występuje przy prędkości przepływu powietrza przez strefę zawału zawierającej się w przedziale $1,5 \div 15$ mm/s. Prędkość ta gwarantuje akumulację ciepła w strefie utleniania węgla znajdującego się zawału. Przy małym postępie ściany i czasie dopływu powietrza większym od okresu inkubacyjnego może dojść do samozapalenia węgla w zrobach. Warunki takie mogą występować w przypadku ograniczonego postępu ściany.

Obliczenia izolinii stężenia metanu dokonano dla czterech stanów różniących się dopływem metanu do środowiska ściany. Takie przedstawienie wyników obliczeń umożliwia dokonanie oceny intensywności wydzielania metanu ze zrobów, określenie w zrobach zawałowych stref o podwyższonym stężeniu metanu oraz przyjęcie odpowiedniej profilaktyki zwalczania zagrożenia metanowego.

Z zamieszczonych obliczeń w etapie 5 wynika, że w przypadku systemu przewietrzania ścian na U od granic przy wydzielaniu metanu do wyrobiska ścianowego na poziomie $15 \text{ m}^3/\text{min}$ następuje wzrost stężenia metanu w zrobach na znacznej długości końcowego odcinka ściany. Analiza wyników obliczeń wskazuje, że dla warunków przedstawionych w przykładzie obliczeniowym maksymalne wydzielanie metanu do ściany powinno się zawierać w przedziale $10\text{-}15 \text{ m}^3/\text{min}$ i nie powinno przekraczać wartości $15 \text{ m}^3/\text{min}$.

Natomiast w przypadku systemu Y od granic strefa podwyższonych stężeń metanu jest odsunięta od kanału ściany i wydzielanie metanu do wyrobiska ścianowego może przy tej ilości powietrza przekraczać $20 \text{ m}^3/\text{min}$. W prowadzonych obliczeniach symulacyjnych średnie stężenie metanu w wyrobiskach opływowych uzależnione jest od wydzielania metanu do wyrobiska i rozkładu stężenia metanu w zrobach.

Dla profilaktyki przeciwpożarowej istotne znaczenie ma takie rozproszanie powietrza, przy którym jego przenikanie przez zroby jest skutecznie ograniczone. Dlatego kierunek wybierania ścian powinien być taki, aby co najmniej jeden z chodników przyścianowych można było rabować, podsadzać lub tamować za frontem ściany.

Również zwalczanie zagrożenia metanowego ściśle związane jest z doбором odpowiedniego systemu przewietrzania. Na etapie projektowania rozcinki niezbędne jest przeanalizowanie skali zagrożenia metanowego i dobranie odpowiedniego systemu zapewniającego wymaganą efektywność odmetanowania.

Z zamieszczonych rozważań wynika, że w przypadku systemu przewietrzania ścian na U od granic przy wydzielaniu metanu do wyrobiska ścianowego na poziomie $15 \text{ m}^3/\text{min}$ następuje wzrost stężenia metanu w zrobach na znacznej długości końcowego odcinka ściany.

Z przeprowadzonych symulacji wynika, że ocenę stanu zagrożenia metanowego w zrobach ścian zawałowych jak i w rejonie skrzyżowania ściany z chodnikiem można przeprowadzić w oparciu o pomiar średniego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego.

Weryfikacja kryteriów pobierania prób powietrza ze zrobów

Dla miejsc o największym zagrożeniu metanowym i pożarowym możliwe jest zaprojektowanie systemu monitoringu zgodnego z obowiązującymi przepisami i zarazem obrazującego faktyczny stan

zagrożenia metanowego lub pożarowego przy wykorzystaniu różnych metod umożliwiających określenie rozkładu stężenia metanu i rozprywu powietrza w zrobach.

W polskich kopalniach węgla kamiennego ocena stanu zagrożenia metanowego jest prowadzona w oparciu o **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 (stan prawny na dzień 14.08.2010 r.).**

Podstawowe zasady kontroli atmosfery w zrobach w rejonie ścian winny być oparte o następujące założenia.

- W chodniku nadścianowym odprowadzającym powietrze ze ściany zabudowany powinien być tlenomierz automatyczny, rejestrująco–alarmujący,
- Rejon winien być zabezpieczony czujnikami metanowymi wyłączająco–rejestrującymi w systemie metanometrii automatycznej,
- Należy pobierać próby gazowe do analizy chromatograficznej ze zrobów w odległości od 10 do 100 m za frontem ściany poprzez pozostawianie linii pomiarowych w zrobach,
- Prowadzić należy pomiary metanu metanomierzami indywidualnymi zgodnie z obowiązującymi instrukcjami kopalnianymi,
- Prowadzić należy pomiary stężenia tlenu indywidualnym analizatorem tlenu.

Próby powietrza ze zrobów pobierane będą za pomocą zabezpieczonych linii węzowych pozostawianych w likwidowanym chodniku nadścianowym. Przykładowy sposób rozmieszczenia linii węzowych pokazano na rysunku 2.27 w opracowaniu etapu 5 zadania badawczego.

Wyniki pomiarów w rejonie ściany F-1 w pokładzie 406/1

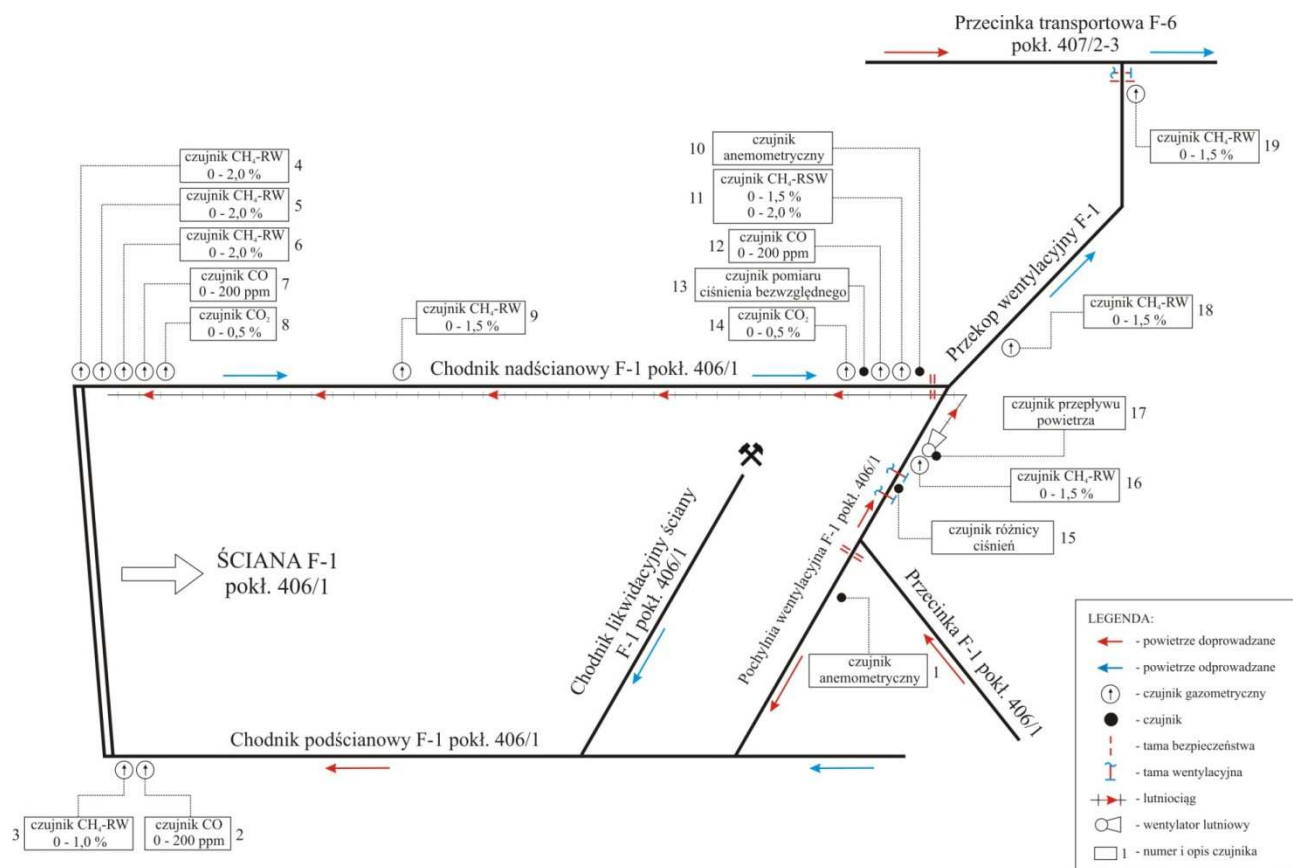
Na rysunku 9 przedstawiono schemat lokalizacji czujników zabezpieczających w rejonie ściany F-1 w pokładzie 406/1, a na rysunku 10 schemat lokalizacji czujników metanometrii automatycznej i rozmieszczenia pomocniczych urządzeń wentylacyjnych w chodniku nadścianowym. Natomiast na rysunku 11 zamieszczono schemat lokalizacji czujników metanometrii automatycznej i rozmieszczenia pomocniczych urządzeń wentylacyjnych w chodniku podścianowym.

W tej ścianie prowadzono pomiary składu gazów w zrobach w różnej odległości od frontu ściany. Pomiary miały na celu weryfikację podanego sposobu oceny zagrożenia metanowego w zrobach i w zaizolowanych przestrzeniach.

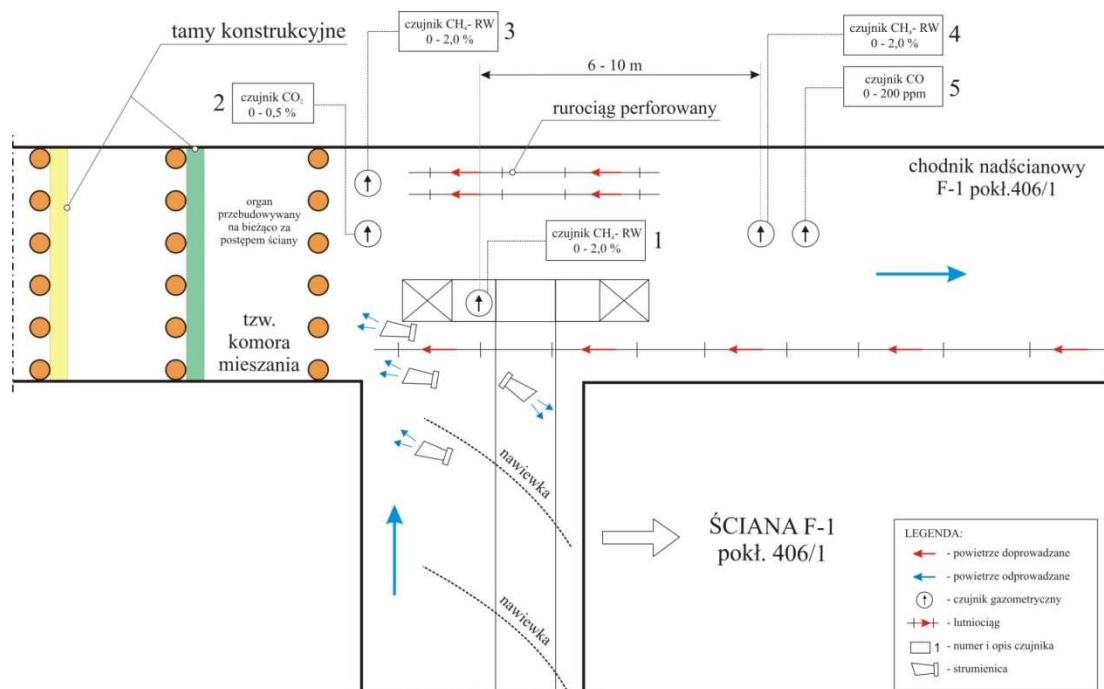
Wyniki pomiarów zestawiono w tablicach jako średnie ze zmiany, natomiast na rysunkach zamieszczono również średnie wartości mierzone obliczone jako średnia wartość z doby. Obliczenia wykonano dla czterech zmian, które obejmowały następujące okresy:

- zm. I – 00:01-06:00,
- zm. II – 06:01-12:00,
- zm. III – 12:01-18:00,
- zm. IV – 18:01-24:00.

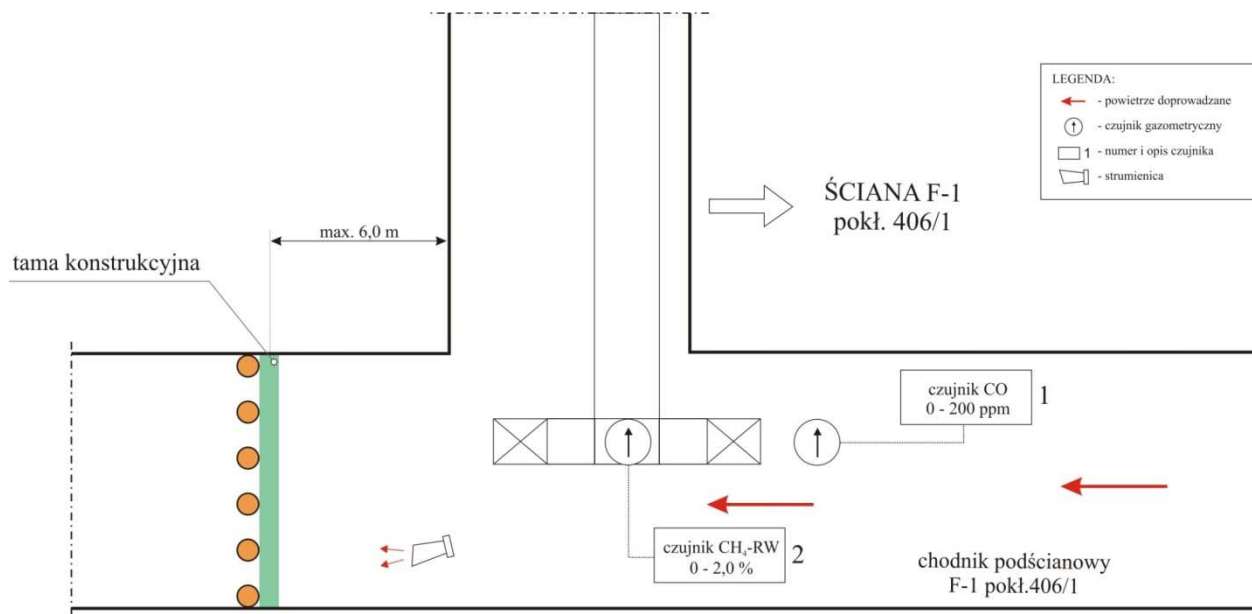
Wyniki obejmowały pomiary ciśnienia i temperatury na powierzchni, pomiary ciśnienia na dole kopalni w rejonie ściany F-1 i zmiany stężenia metanu na czujnikach w rejonie ściany eksploatacyjnej oraz w zrobach ściany F-1 w pokładzie 406/1. Natomiast na rysunku 12a zamieszczono zmiany ciśnienia w rejonie ściany F-1 i na powierzchni w odstępach sześciogodzinnych. Z kolei na rysunku 12b przedstawiono zmiany ciśnienie na powierzchni i w chodniku nadścianowym jako średnie z danego dnia. Zmiany ciśnienia z pierwszej serii i drugiej są do siebie zbliżone.



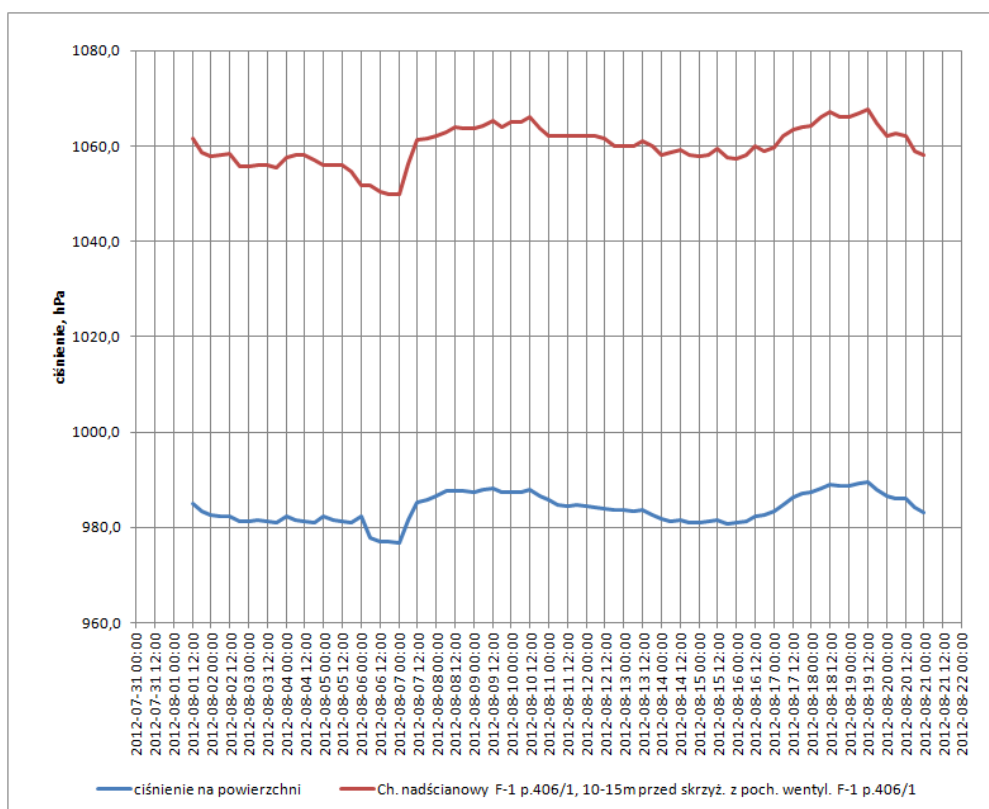
Rys. 9. Schemat lokalizacji czujników zabezpieczających w rejonie ściany F-1 w pokładzie 406/1



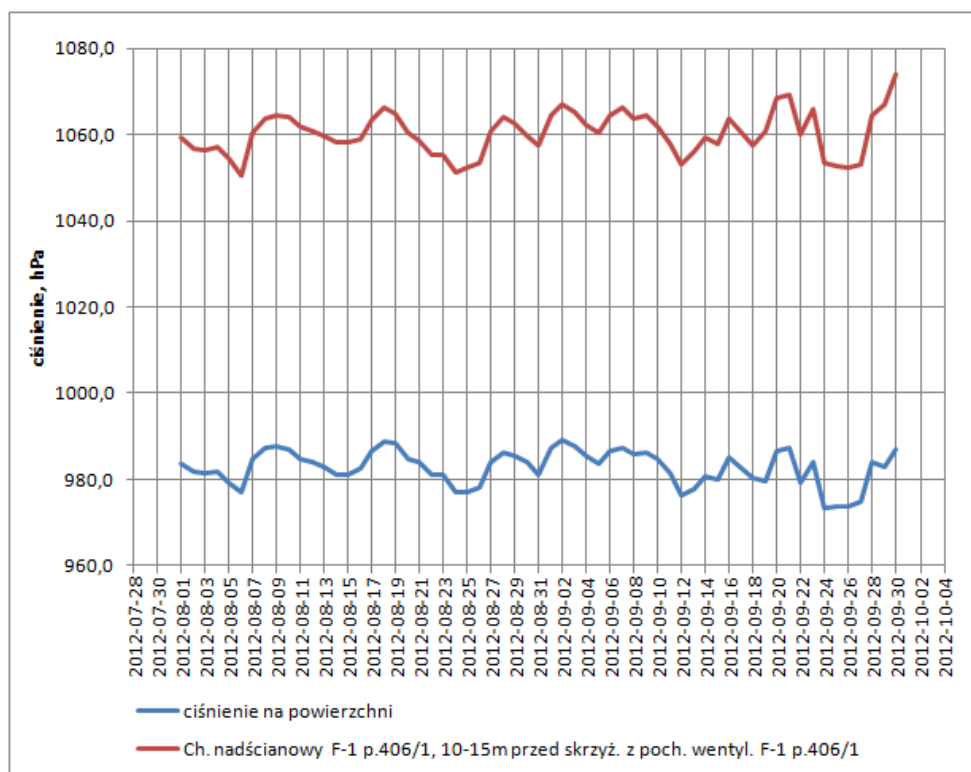
Rys. 10. Schemat lokalizacji czujników metanometrii automatycznej i rozmieszczenia pomocniczych urządzeń wentylacyjnych



Rys. 11. Schemat lokalizacji czujników metanometrii automatycznej i rozmieszczenia pomocniczych urządzeń wentylacyjnych



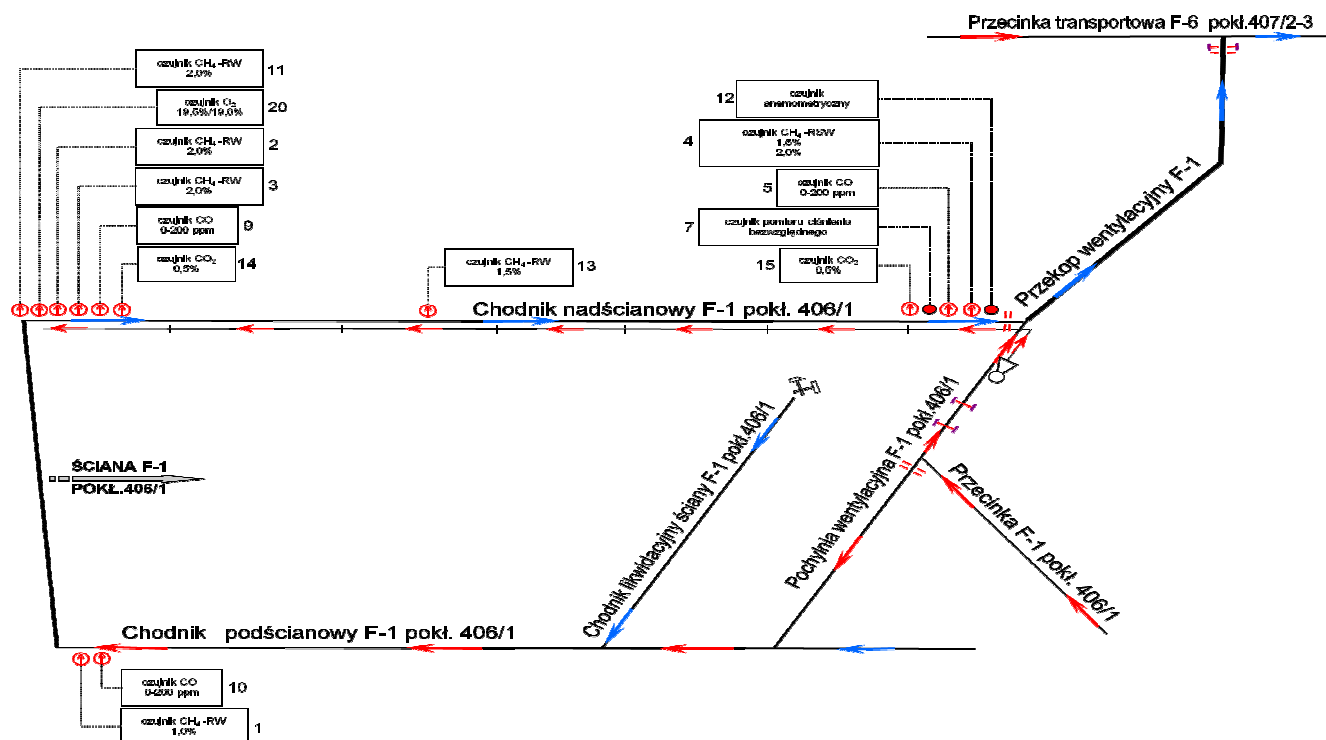
Rys. 12a. Zmiany ciśnienie na powierzchni i w chodniku nadścianowym ściany F-1



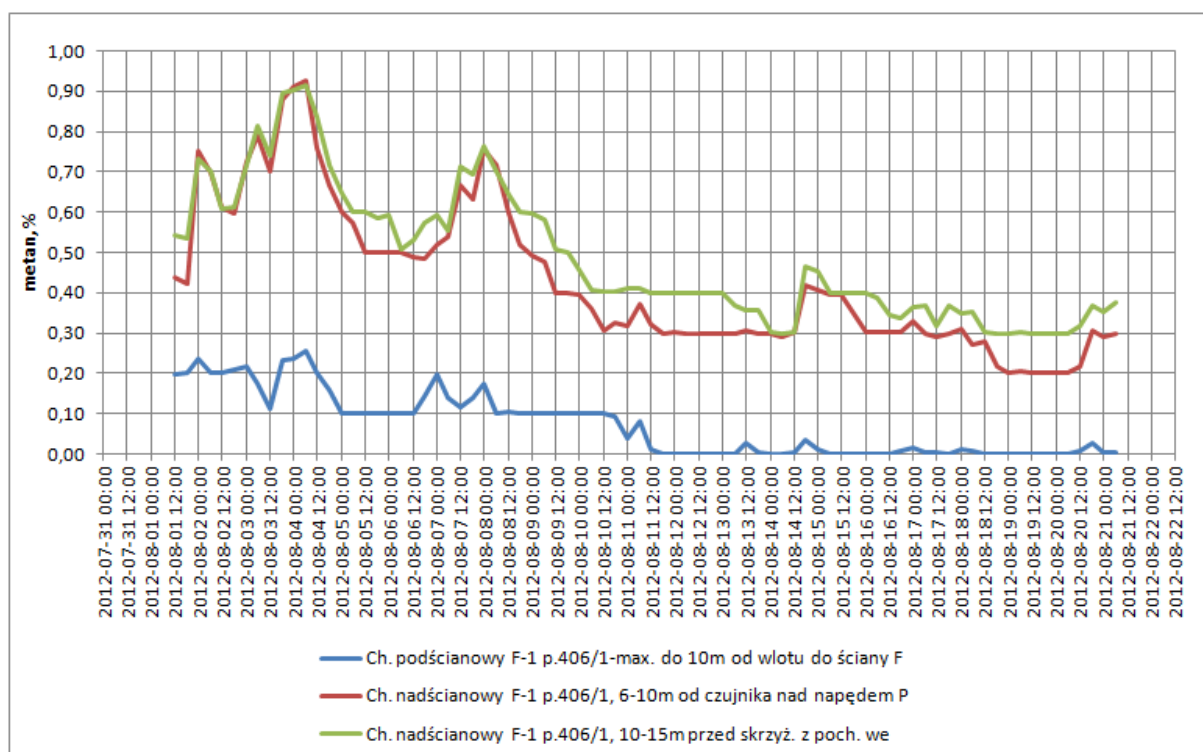
Rys. 12b. Zmiany ciśnienie na powierzchni i w chodniku nadścianowym ściany F-1

Rozmieszczenie czujników zostało przedstawione na rysunku 13. Na rysunku 14 przedstawiono zmianę stężenia metanu w ścianie F-1 (rys. 14a odpowiada średniemu stężeniu metanu dla sześciu godzin a 14b dla całej doby). Rysunek 15 przedstawia zmiany prędkości przepływu powietrza pomierzone na anemometrze zabudowanym w pochylnej wentylacyjnej F-1 pokł.406/1 w odległości 25-50m za skrzyżowaniem z przecinką F-1 pokł. 406/1 (w kierunku chodnika podścianowego F-1 pokł.406/1) w wolnym przekroju wyrobiska na wysokości około 2 m od spągu. Na rysunkach 15a i 16a przedstawiono średnie wartości z sześciu godzin obserwacji, natomiast na rysunkach 15b i 16b przedstawiono średnie wartości z doby. Rysunki 15b i 16b obejmują też dłuższy okres obserwacji niż rysunki 15a i 16a.

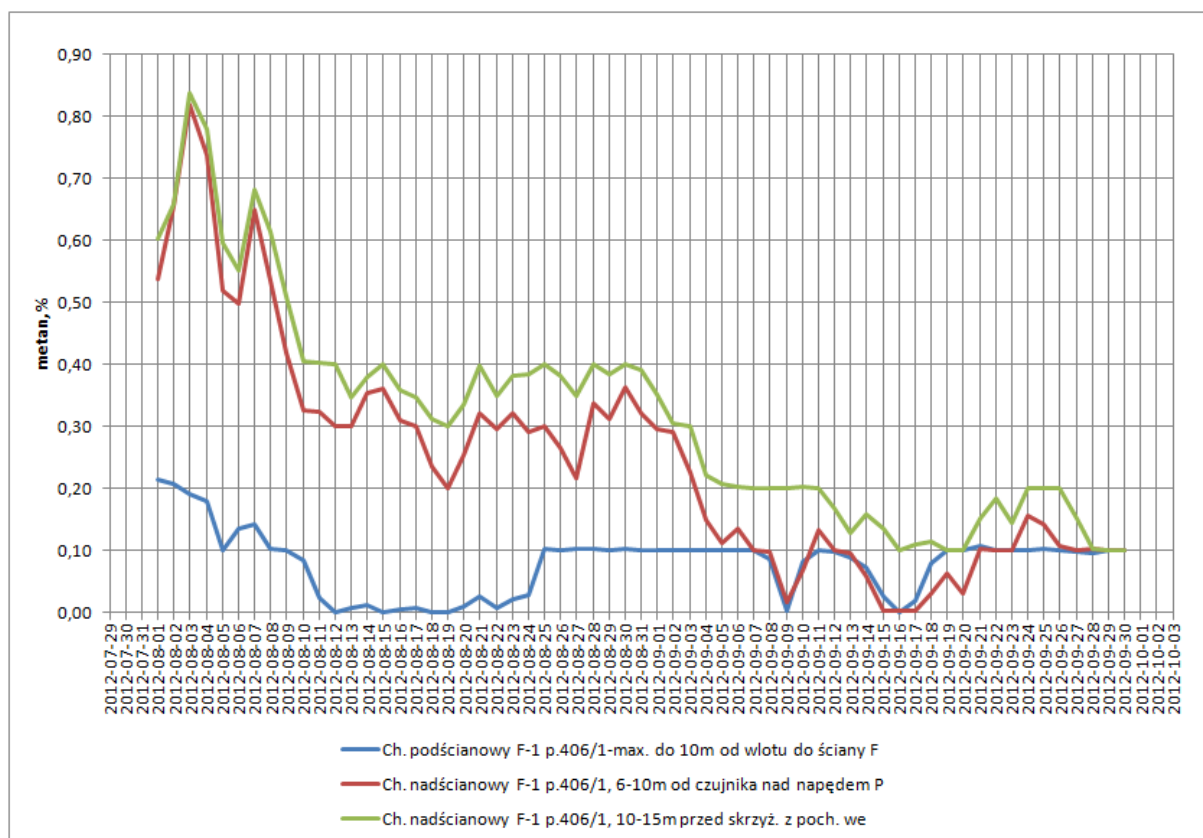
Nie wykreślono zmian stężenia CO i CO₂ gdyż wartości wskazane stanowiły tło, natomiast stężenie tlenu było w normie.



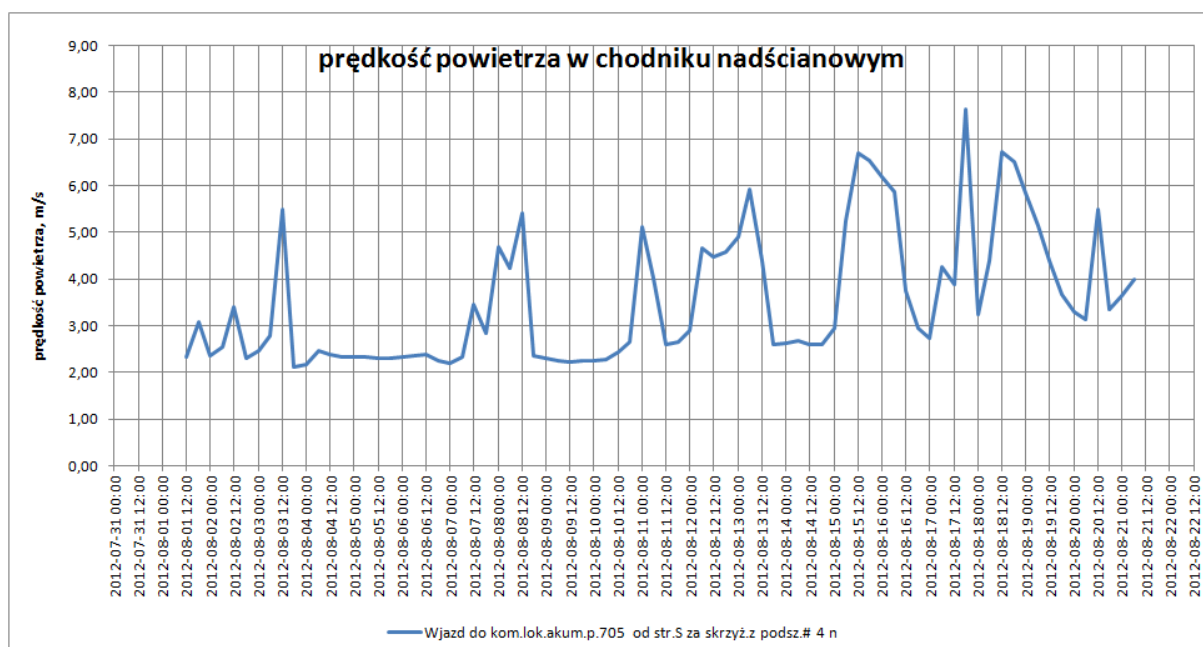
Rys. 13 Schemat rozmieszczenia czujników w rejonie ściany F-1



Rys. 14a. Zmiany stężenia metanu na wlocie do ściany, na wylocie ze ściany oraz na wylocie z chodnika nadścianowego - średnie z 6 godzin



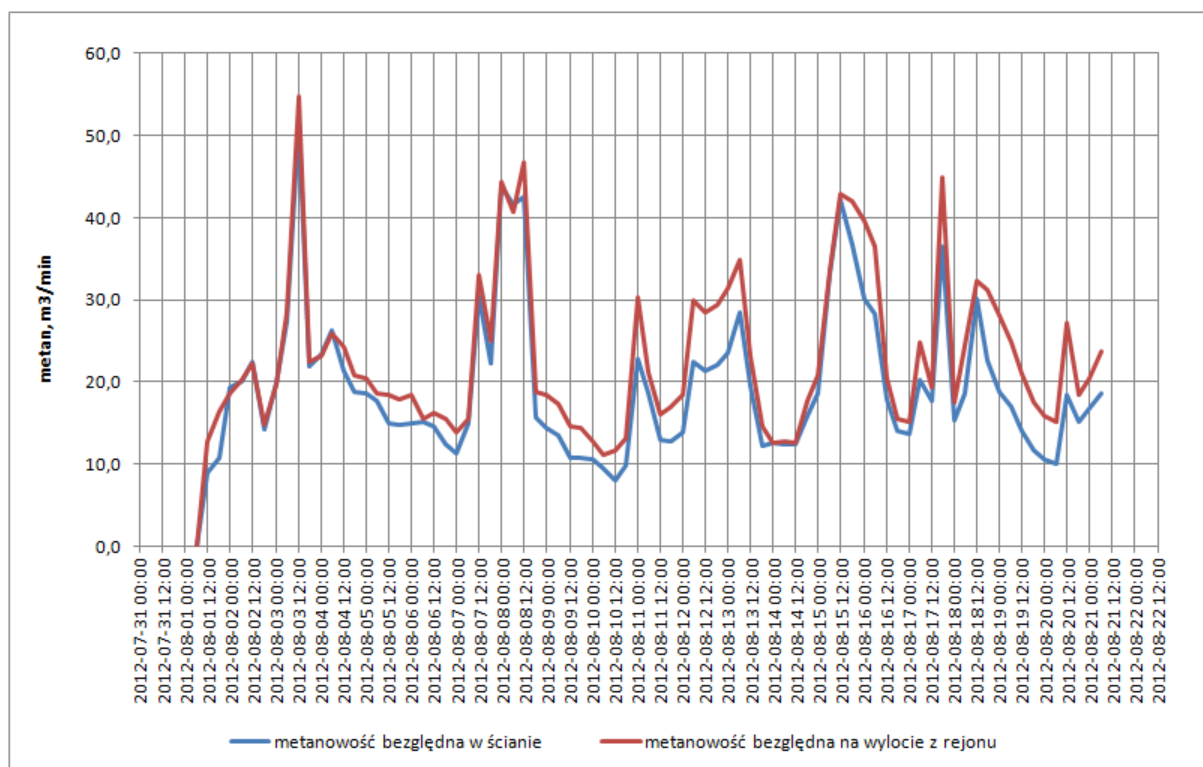
Rys. 14b. Zmiany stężenia metanu na wlocie do ściany, na wylocie ze ściany oraz na wylocie z chodnika nadścianowego - średnie z doby



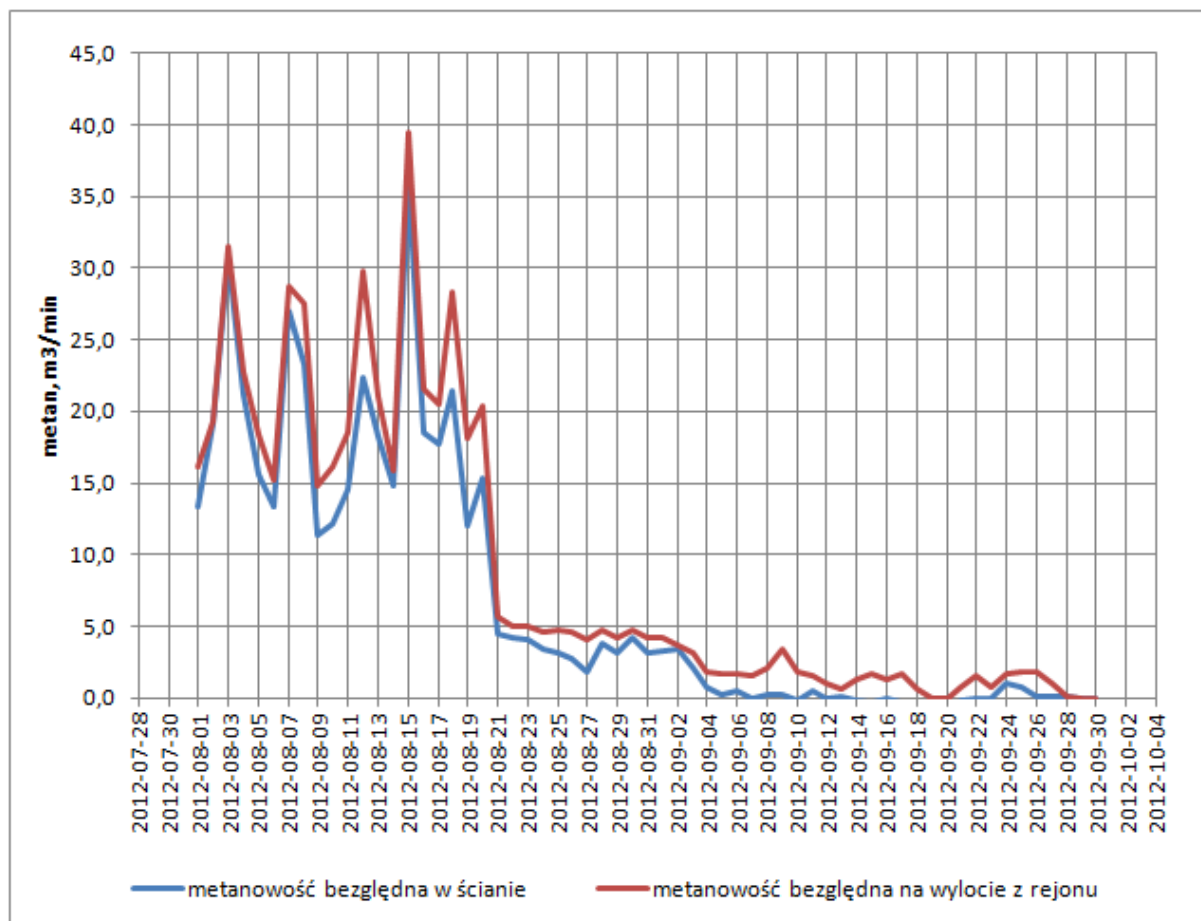
Rys. 15a. Zmiany prędkości powietrza w chodniku nadścianowym - średnie z 6 godzin



Rys. 15b. Zmiany prędkości powietrza w chodniku nadścianowym - średnie z doby



Rys. 16a. Zmiany metanowości ściany F-1 pokład 406/1 - średnie z 6 godzin

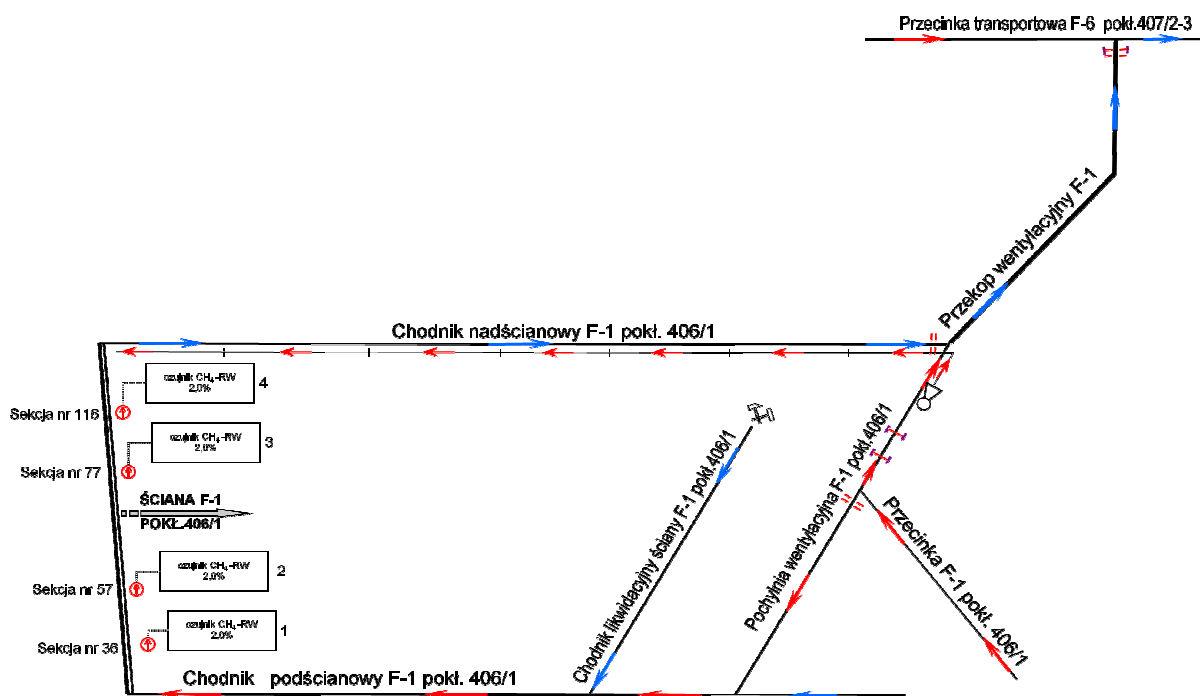


Rys. 16b. Zmiany metanowości ściany F-1 pokład 406/1 - średnie z doby

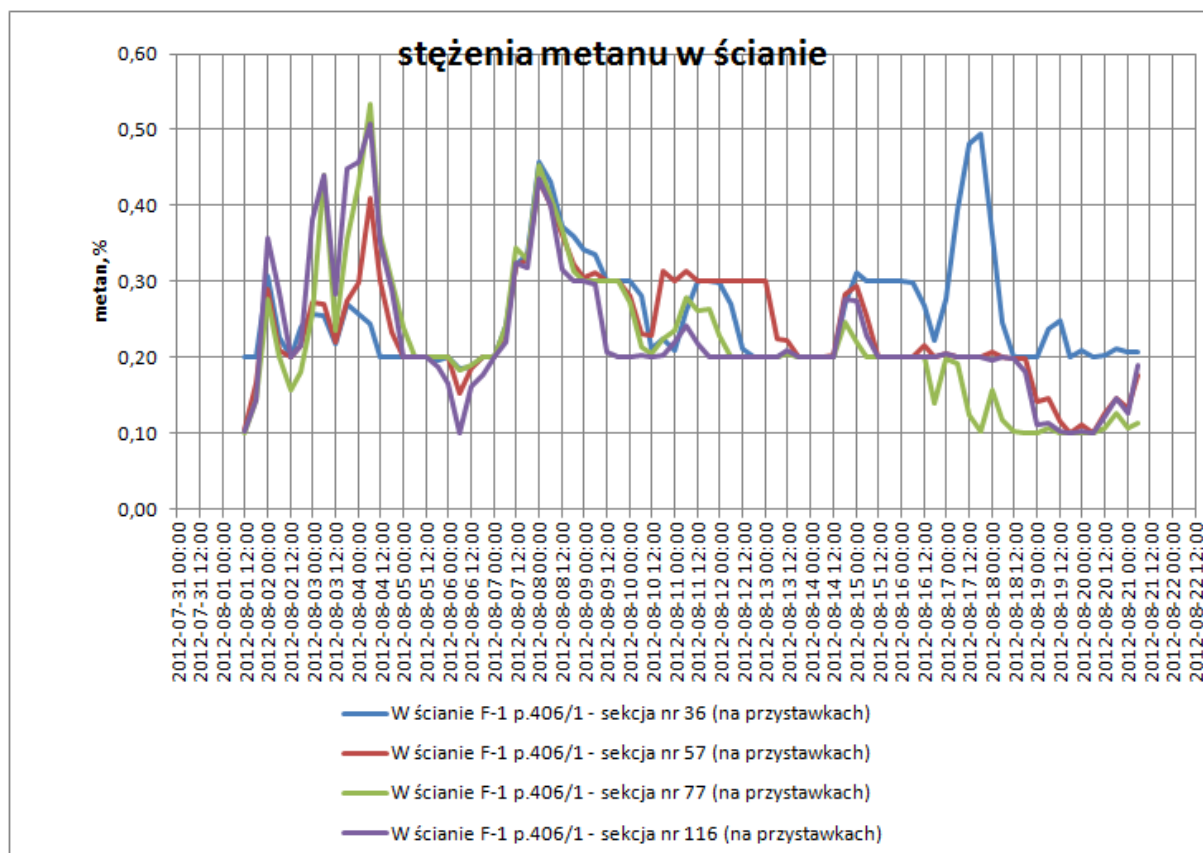
Niezależnie od opisanych powyżej obserwowanych wartości stężenia metanu w rejonie ściany mierzone były również zmiany stężenie metanu na czujnikach rozmieszczonych w ścianie F-1, które były zabudowane w następujących sekcjach obudowy:

1. **MM-35 - czujnik CH₄ – RW próg 2,0%** zabudowany na nadstawce w ścianie F-1 w pokładzie 406/1 (w sekcji nr 36)
2. **MM-37 - czujnik CH₄ – RW próg 2,0%** zabudowany na nadstawce w ścianie F-1 w pokładzie 406/1 (w sekcji nr 57)
3. **MM-38 - czujnik CH₄ – RW próg 2,0%** zabudowany na nadstawce w ścianie F-1 w pokładzie 406/1 (w sekcji nr 77)
4. **MM-45 - czujnik CH₄ – RW próg 2,0%** zabudowany na nadstawce w ścianie F-1 w pokładzie 406/1 (w sekcji nr 116).

Schemat rozmieszczenia czujników przedstawiono na rysunku 17. Rozkład stężenia metanu w ścianie F-1 został przedstawiony na rysunku 18.



Rys. 17. Schemat rozmieszczenia czujników w ścianie F-1



Rys. 18. Zmiany stężenia metanu w ścianie F-1

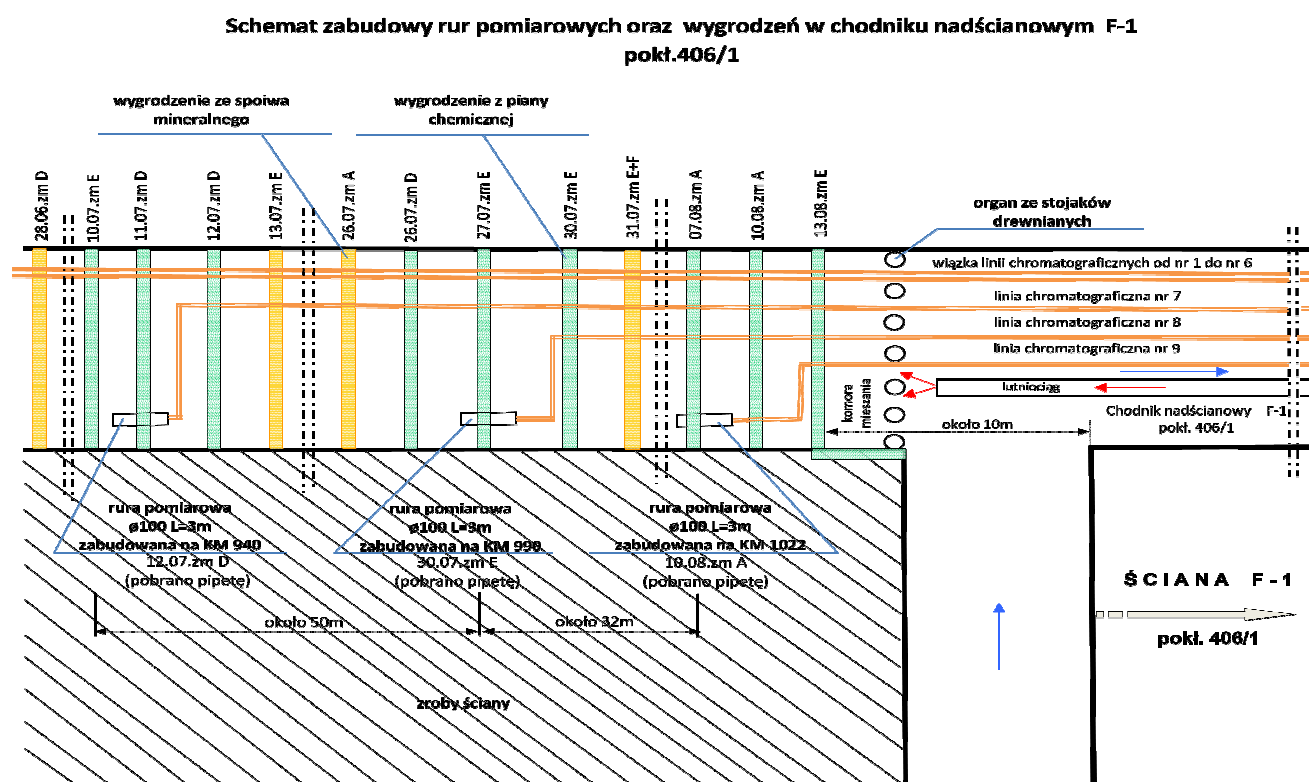
Wyniki pomiarów w zrobach ściany F-1 w pokładzie 406/1

W zrobach ściany F-1 zabudowane były linie chromatograficzne z których pobierano próby gazów do oznaczenia zawartości tlenu, metanu, tlenku węgla, dwutlenku węgla i ciśnienia. Poniżej przedstawiono wyniki z pięciu linii chromatograficznych nr 9, 8, 6, 5 i 4.

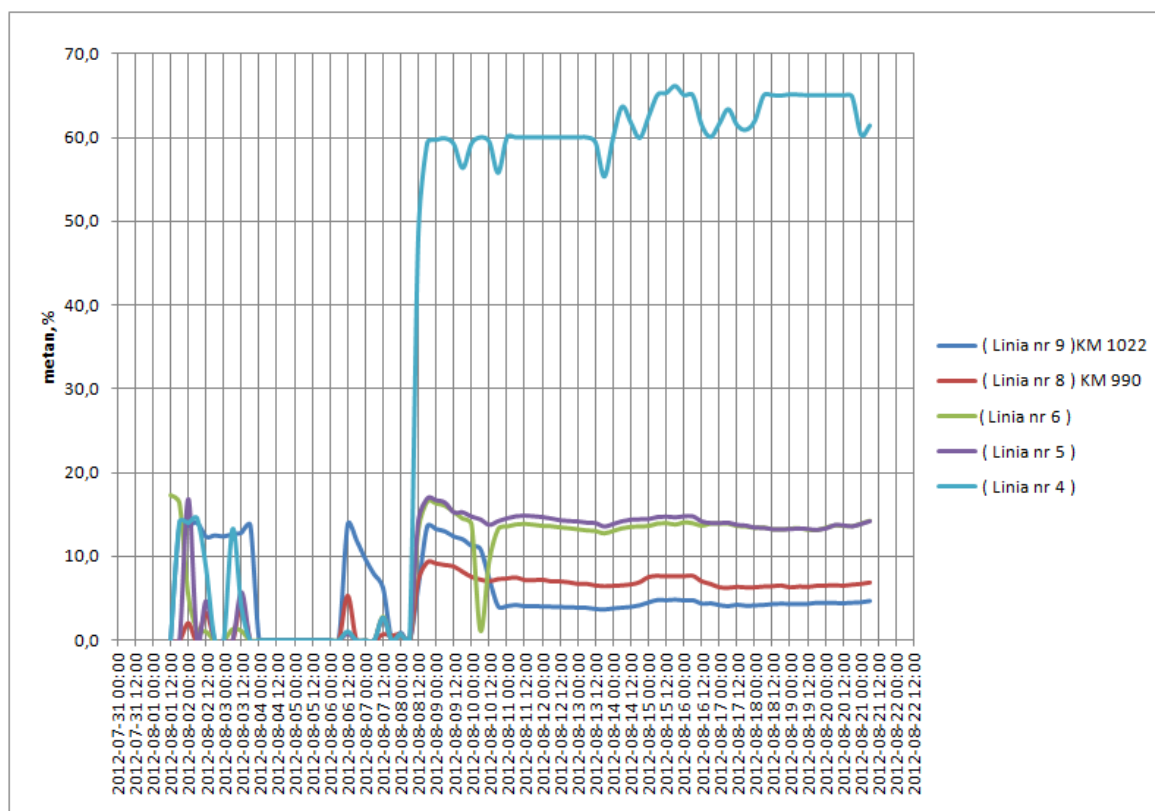
Schemat rozmieszczenia linii chromatograficznych przedstawiono na rysunku 19. Natomiast wyniki pomiarów z tych linii zamieszczono w tablicach od 8 do 12. Wyniki pomiarów w formie graficznej przedstawiono na rysunkach od 20 do 25. Na rysunkach 20a do 25a zamieszczono okres odpowiadający dla sierpnia przy wyliczanej wartości średnie z sześciu godzin, a na rysunku 20b do 25b przedstawiono okres sierpnia i września dla wartości wyliczanej jako średnia dla doby.

Na rysunku 20 zamieszczono zbiorcze zestawienie zmian stężenia metanu w poszczególnych liniach chromatograficznych. W pierwszym okresie widoczne są zmiany stężenia, co należy wiązać z trudnościami przy poborze próby, a które wynikały z skraplania pary wodnej w węzłach. W drugim etapie zmiany stężenia są ustabilizowane. Rysunek 21 przedstawia zmianę stężenia tlenu, rys. 22 zmianę stężenia tlenku węgla, rys. 23 zmianę stężenia dwutlenku węgla i rys. 24 zmianę ciśnienia.

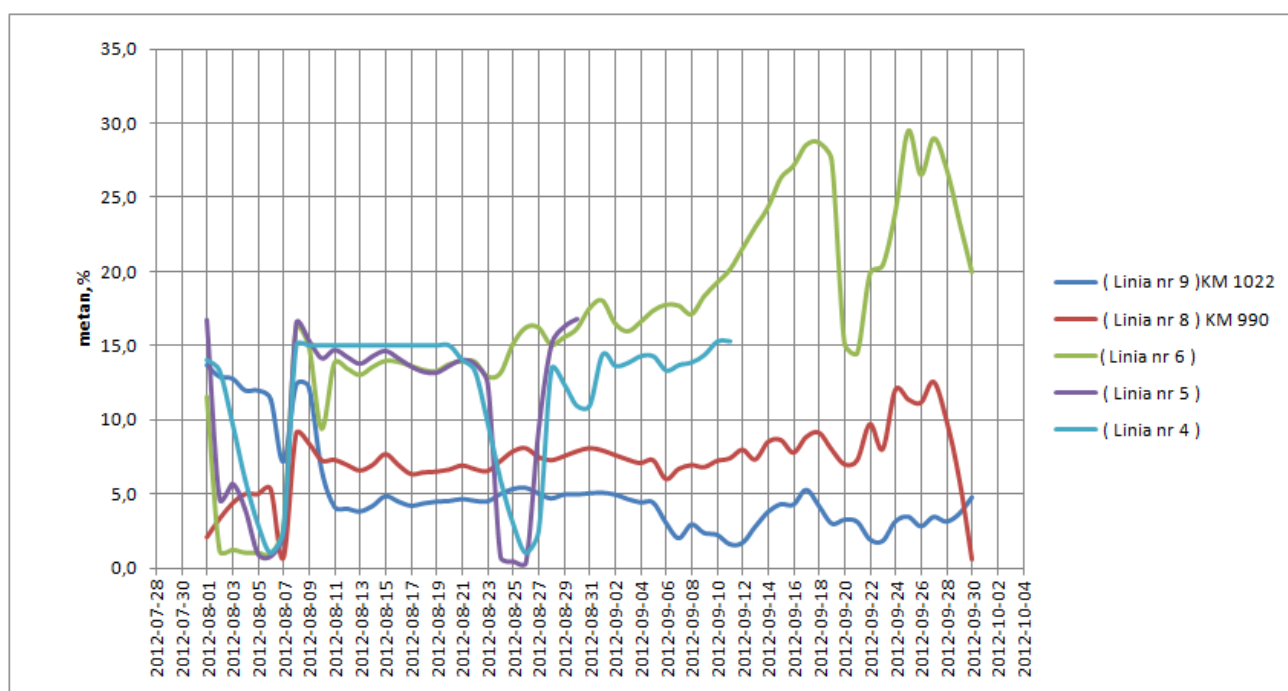
Natomiast rysunek 25 przedstawia porównanie zmian stężenia metanu z linii chromatograficznej oraz z czujnika zabudowanego na wylocie ze ściany. Z tego porównania wynika jednoznacznie, że w chodniku wentylacyjnym mierzone wartości stężenia metanu nie odpowiadają wartościom stężenia metanu pomierzonym w zrobach na różnych głębokościach. Jest to związane z stosowaniem pomocniczych urządzeń wentylacyjnych. Uzyskane wyniki oznaczeń zawartości gazów w zrobach mogą być pomocne przy ustalaniu profilaktyki zwalczania zagrożenia metanowego i pożarowego.



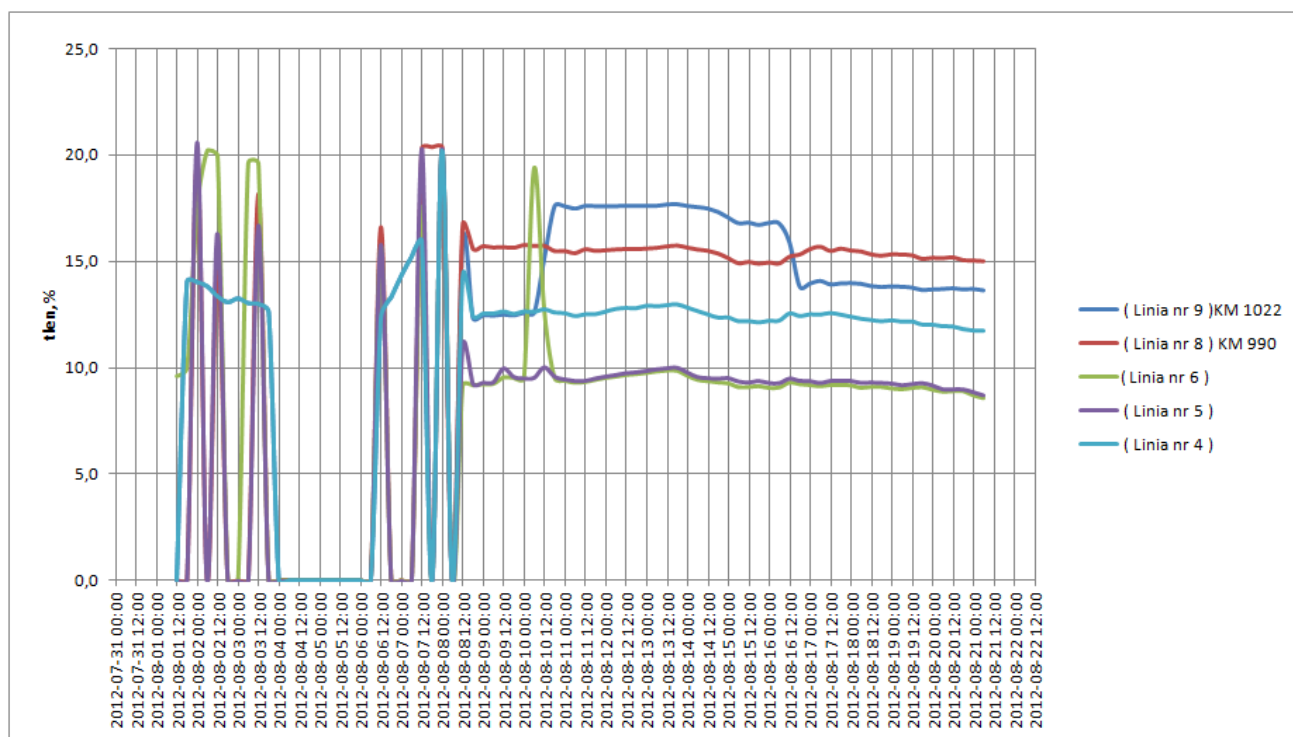
Rys. 19. Schemat rozmieszczenia linii chromatograficznych w zrobach ściany F-1



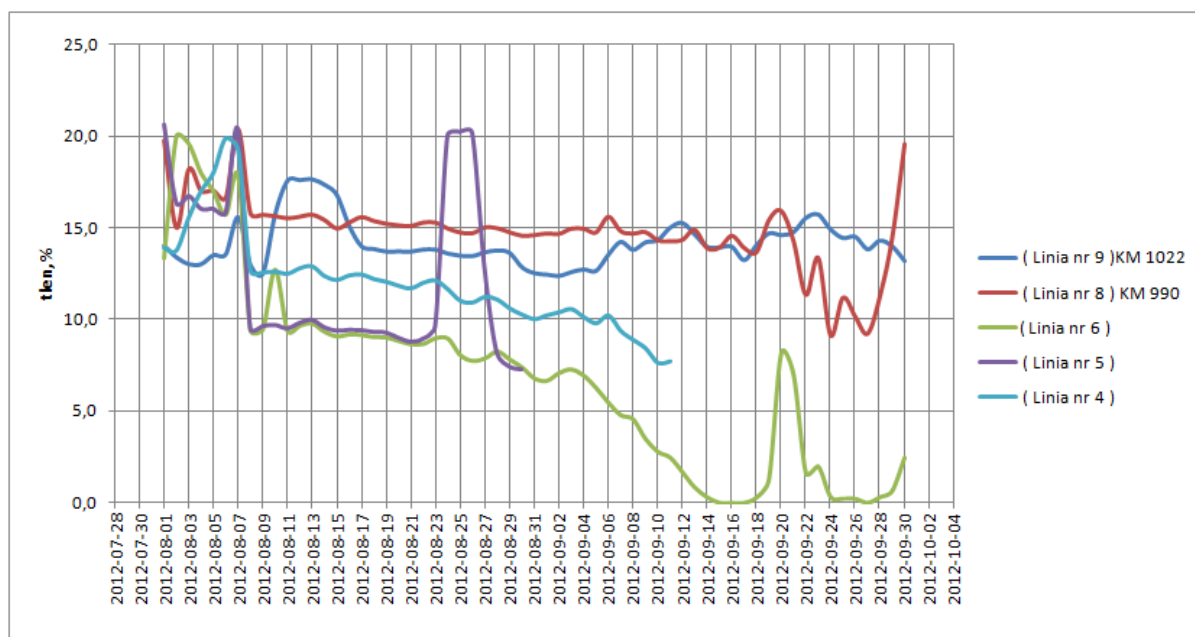
Rys. 20a. Przebieg stężeń metanu z linii chromatograficznych – średnie z 6 godzin



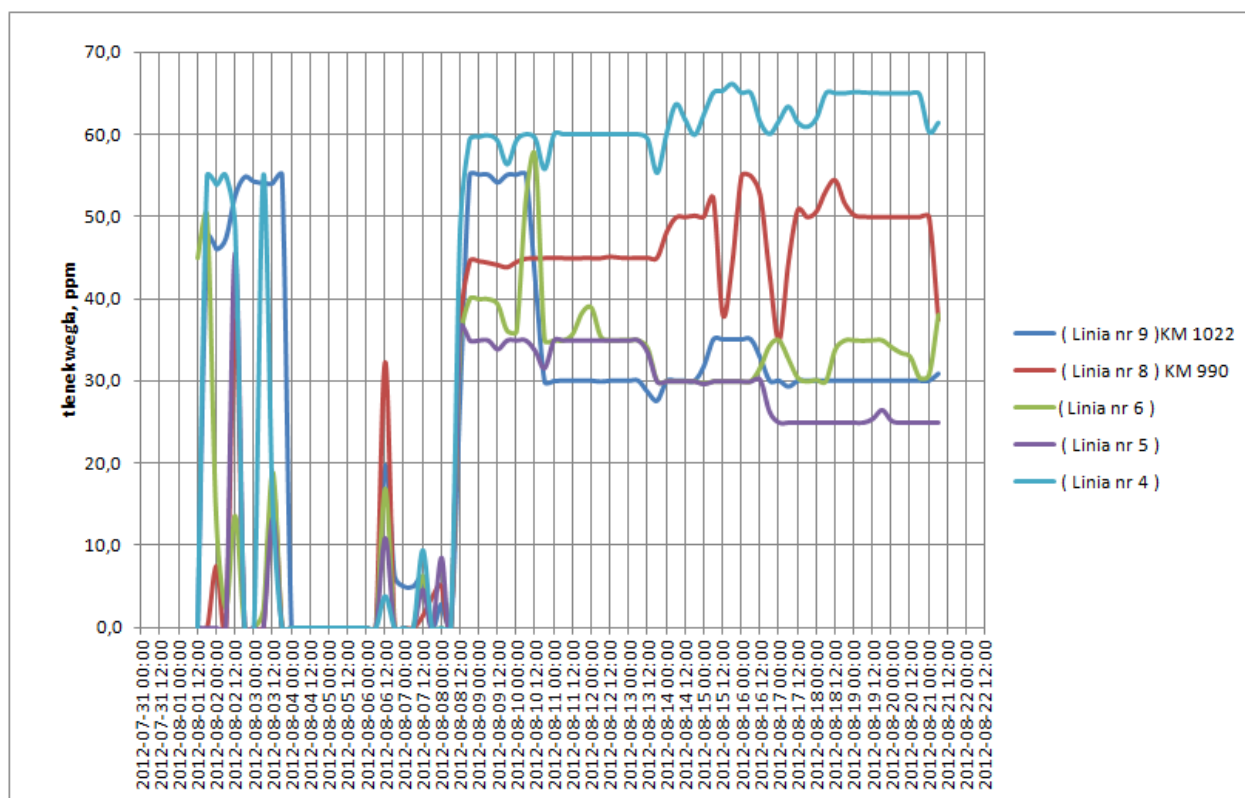
Rys. 20b. Przebieg stężeń metanu z linii chromatograficznych – średnie z doby



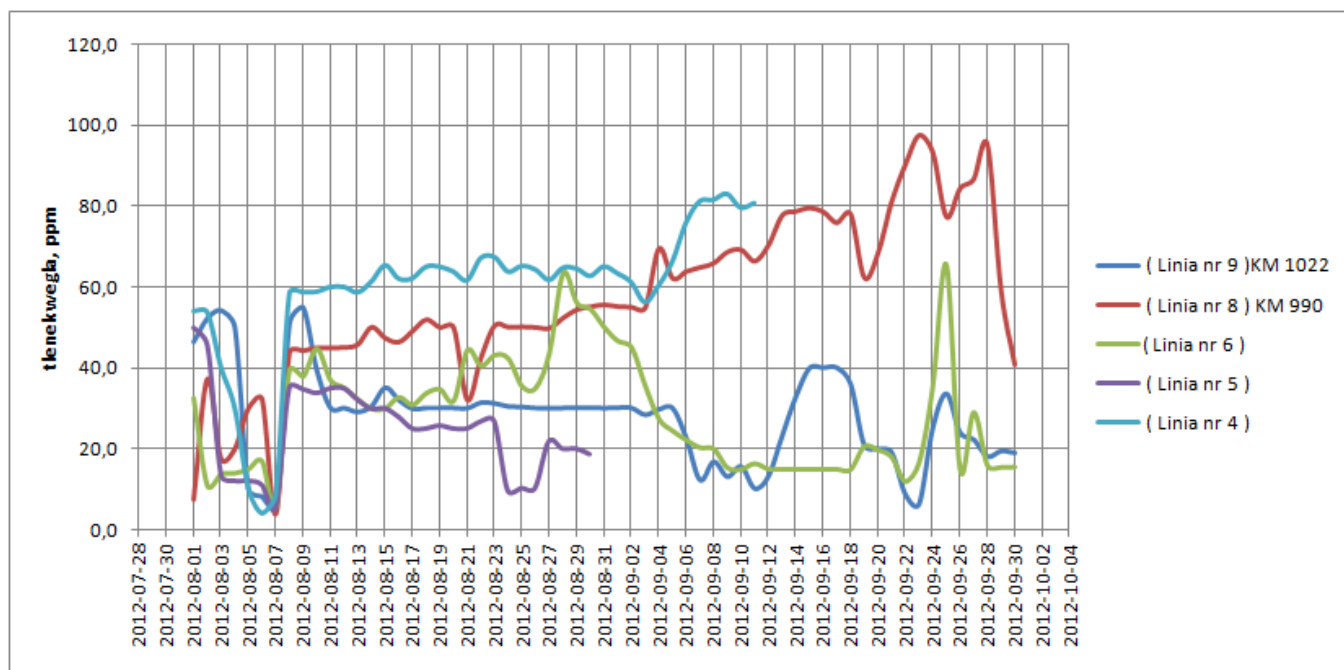
Rys. 21a. Przebieg stężenia tlenu z linii chromatograficznych – średnie z 6 godzin



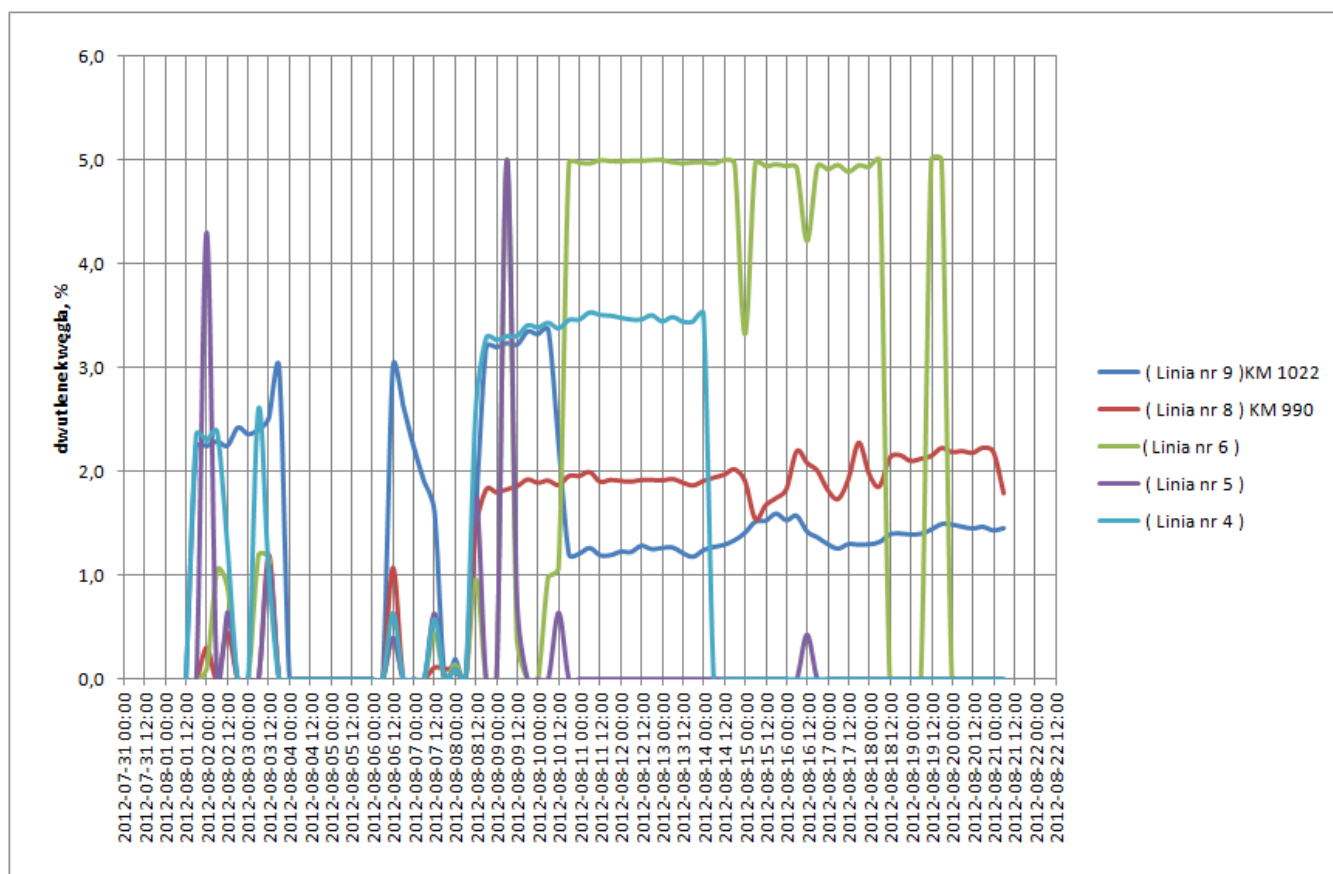
Rys. 21b. Przebieg stężenia tlenu z linii chromatograficznych – średnie z doby



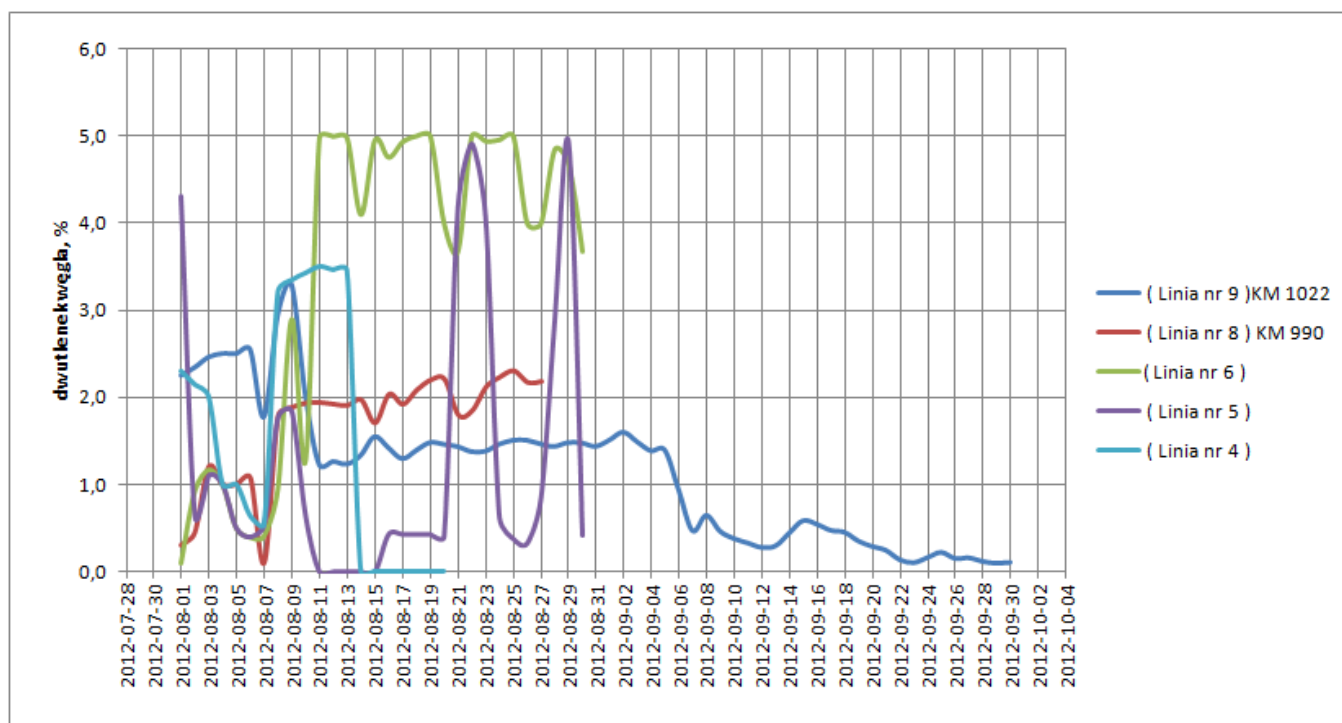
Rys. 22a. Przebieg stężenia tlenku węgla z linii chromatograficznych – średnie z 6 godzin



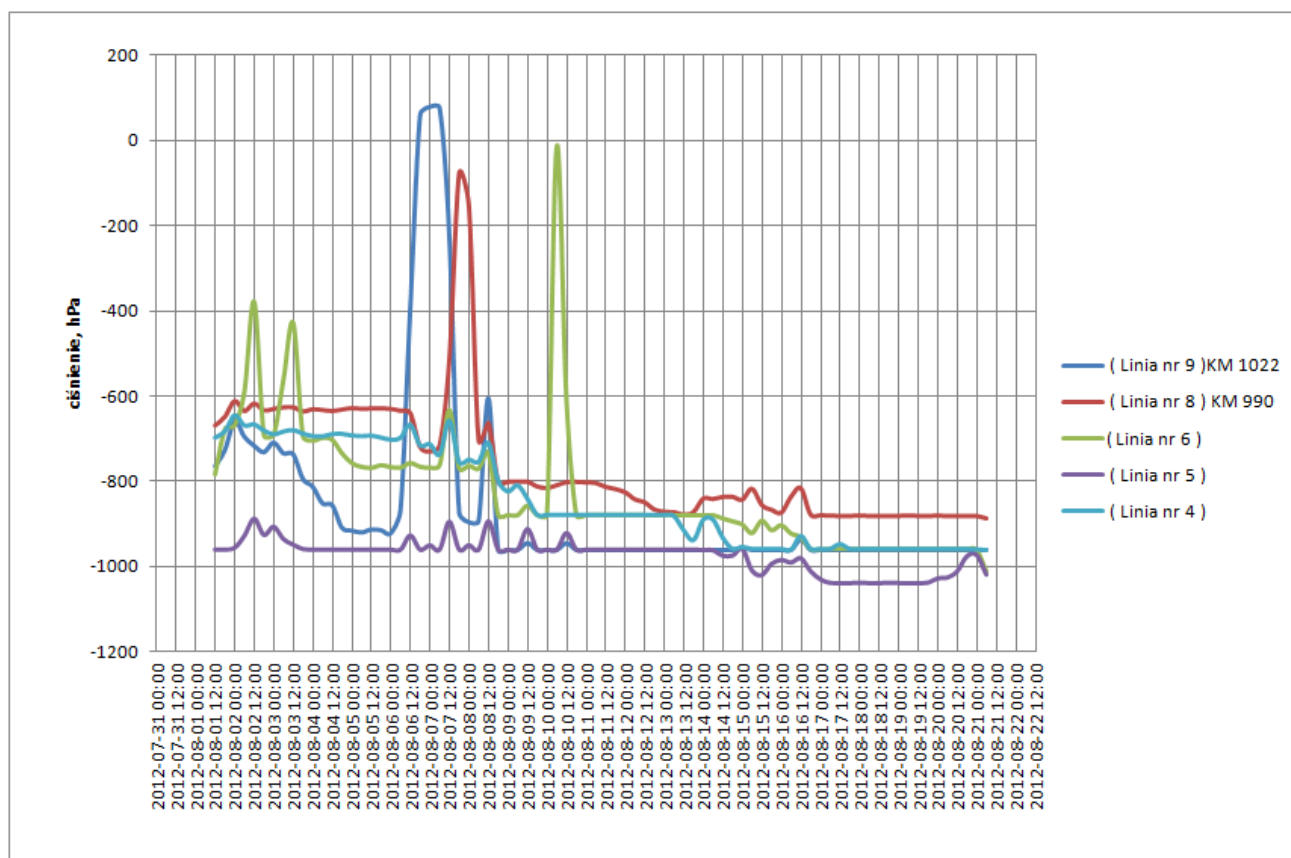
Rys. 22b. Przebieg stężenia tlenku węgla z linii chromatograficznych – średnie z doby



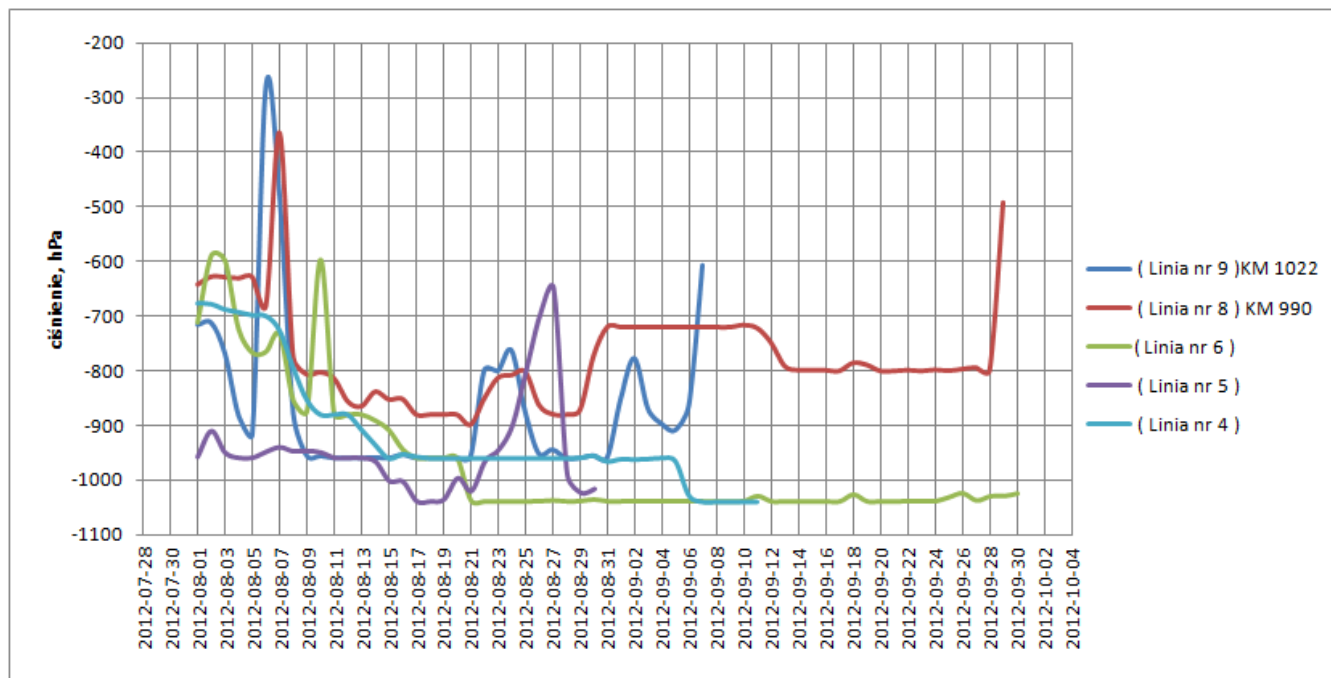
Rys. 23a. Przebieg stężenia dwutlenku węgla z linii chromatograficznych – średnie z 6 godzin



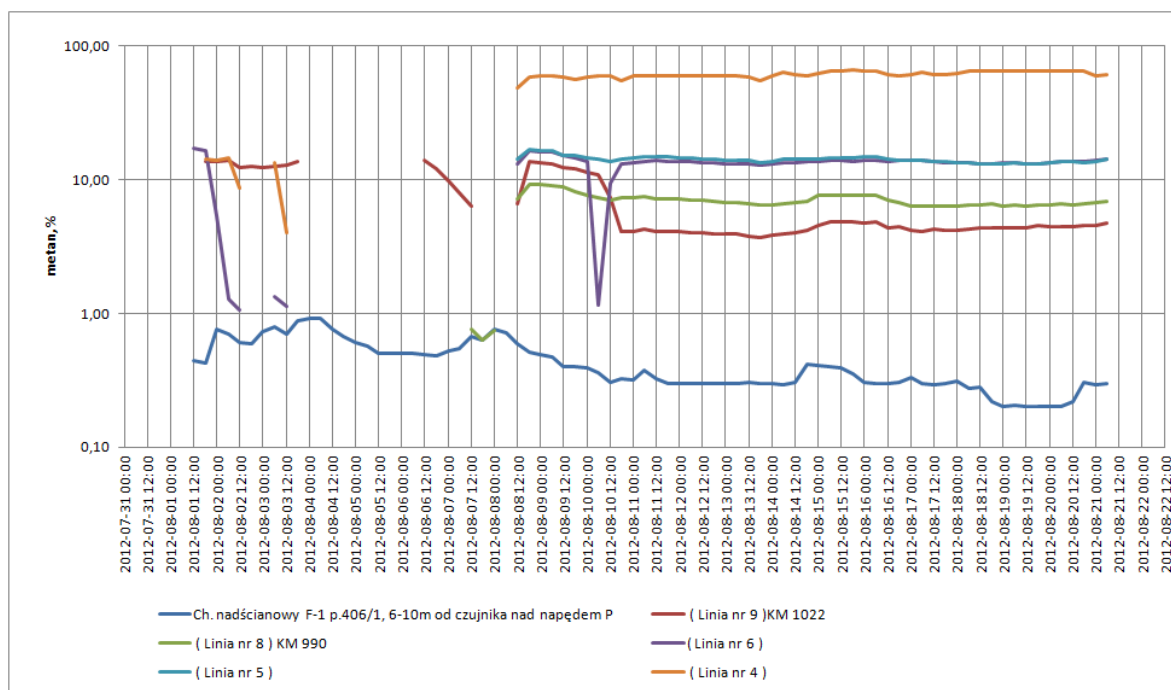
Rys. 23b. Przebieg stężenia dwutlenku węgla z linii chromatograficznych – średnie z doby



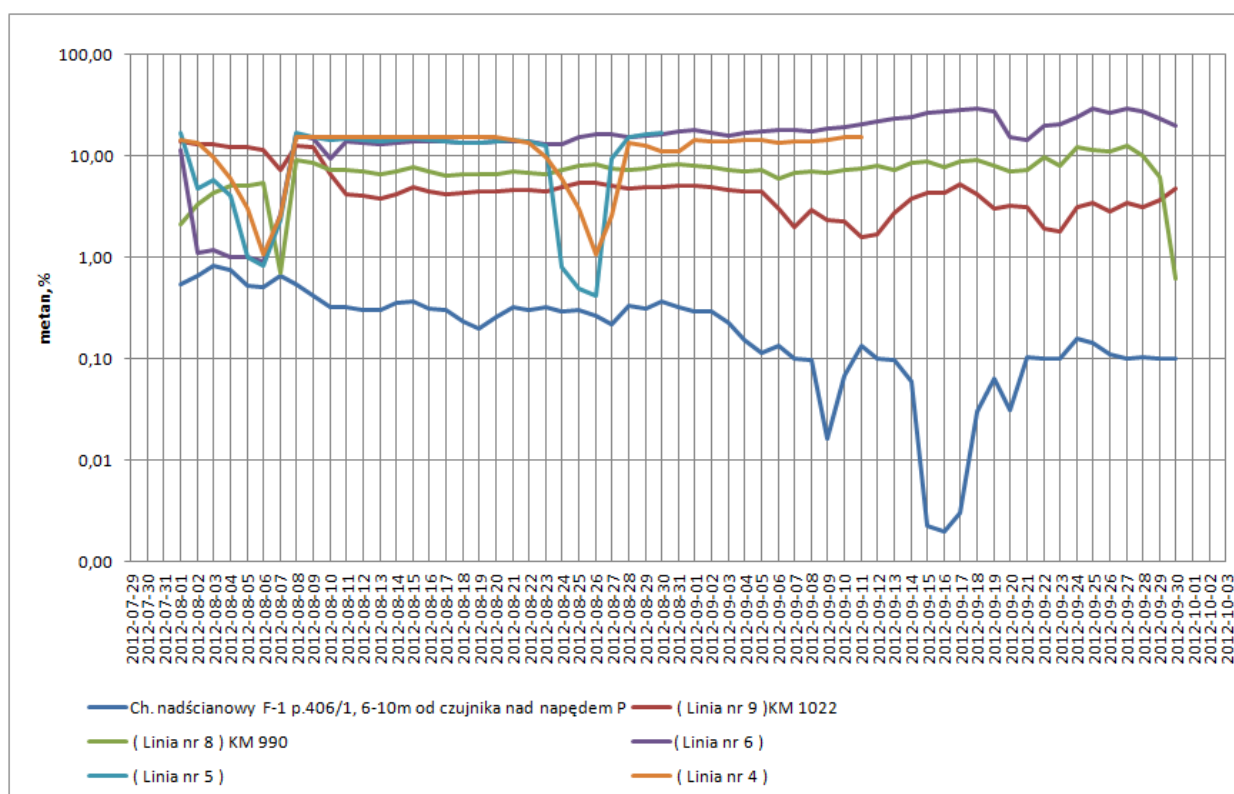
Rys. 24a. Przebieg zmian ciśnienia z linii chromatograficznych – średnie z 6 godzin



Rys. 24b. Przebieg zmian ciśnienia z linii chromatograficznych – średnie z doby



Rys. 25a. porównanie zmian stężenia metanu na wylocie ze ściany i z linii chromatograficznych w zrobach ściany – średnie z 6 godzin



Rys. 25b. Porównanie zmian stężenia metanu na wylocie ze ściany i z linii chromatograficznych w zrobach ściany – średnie z doby

Ustalenie zasad kontroli zagrożenia metanowego w wyrobiskach ścianowych

W polskich warunkach przepisy odnoszą się do utrzymania dopuszczalnego stężenia metanu w powietrzu kopalnianym. W przepisach określono jak i gdzie prowadzi się kontrolę zawartości metanu w powietrzu kopalnianym. Określono również sposób zabezpieczenia urządzeń elektrycznych za

pomocą systemu metanometrii. Sposoby rozmieszczania czujników metanometrii związane są z systemami przewietrzania ścian eksploatacyjnych. Lokalizacja czujników metanometrii może być związana z warunkami lokalnymi danej ściany, jak również lokalizacją dodatkowych, pomocniczych urządzeń wentylacyjnych, które są zabudowywane w celu niedopuszczenia do powstawania nagromadzeń niebezpiecznych stężeń metanu na skrzyżowaniach ścian z chodnikami przyścianowymi.

Lokalizacja tych czujników jest uzależniona od warunków panujących w rejonie ściany oraz sposobu zabudowy pomocniczych urządzeń wentylacyjnych.

W ścianach o wysokiej koncentracji wydobywania, prowadzonych w warunkach dużego zagrożenia metanowego lokalizacja czujników zgodnie z przepisami nie zawsze musi być wystarczająca. Często w rejonie ściany instalowane są dodatkowe czujniki, poza tymi określonymi w przepisach, ich lokalizacja uzależniona jest od występującego zagrożenia metanowego.

W celu niedopuszczenia do powstawania nagromadzeń niebezpiecznych stężeń metanu na skrzyżowaniach ścian z chodnikami przyścianowymi w kopalniach węgla kamiennego stosuje się układy pomocniczych urządzeń wentylacyjnych. Spełniają one istotną rolę w kontroli zagrożenia metanowego. Lokalizacja dodatkowych czujników w rejonie ściany eksploatacyjnej zależy od rodzaju i sposobu rozmieszczania pomocniczych urządzeń wentylacyjnych.

Zgodnie z wcześniejszymi ustaleniami podstawowe zasady kontroli atmosfery w zrobach w rejonie ścian winny być oparte o następujące założenia:

- w warunkach dużego zagrożenia metanowego i pożarowego przy przewietrzaniu ściany na U należy prowadzić obserwację stężenia metanu i innych gazów w zrobach w chodniku wentylacyjnym,
- rejon ściany winien być zabezpieczony czujnikami metanowymi wyłączająco-rejestrującymi w systemie metanometrii automatycznej,
- w chodniku nadścianowym odprowadzającym powietrze ze ściany zabudowany powinien być tlenomierz automatyczny, rejestrująco-alarmujący,
- prowadzić należy pomiary stężenia metanu metanomierzami indywidualnymi zgodnie z obowiązującymi instrukcjami kopalnianymi.

Porównując sposoby kontroli zagrożenia metanowego w innych krajach należy stwierdzić, że polskie przepisy górnicze (**Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i ...**) **szczegółowo i właściwie** regulują zasady kontroli i zabezpieczenia metanometrycznego w rejonach eksploatacyjnych.

System zabezpieczenia metanometrycznego w polskich kopalniach podziemnych nie różni się znacząco od systemów w innych krajach.

Porównując sposoby kontroli zagrożenia metanowego w innych krajach należy stwierdzić, że polskie przepisy górnicze winny dopuścić dobór systemu wentylacji ścian w pokładach węgla oparty o zasady kontroli i zabezpieczenia metanometrycznego w rejonach eksploatacyjnych.

Wytyczne pomiarów i zabezpieczenia metanometrycznego ścian eksploatacyjnych prowadzonych w warunkach zagrożenia metanowego

I. Zasady ogólne kontroli i zwalczania zagrożenia metanowego

- Dla efektywnego zwalczania zagrożenia metanowego należy dobierać system przewietrzania ścian w zależności od prognozowanej metanowości wentylacyjnej wyrobisk eksploatacyjnych. System przewietrzania ścian na „U” można stosować do $15 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{min}$. Powyżej $15 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{min}$ należy stosować inne systemy przewietrzania ścian umożliwiające odsunięcie niebezpiecznych stężeń metanu w głąb zrobów (np. system przewietrzania „Y”). W warunkach dużego zagrożenia metanowego i pożarowego przy przewietrzaniu ściany na „U” należy prowadzić obserwację stężenia metanu i innych gazów w zrobach od strony chodnika wentylacyjnego do głębokości 60 m.
- W wyrobiskach zaliczonych do pola II kategorii zagrożenia metanowego (**wg propozycji nowej kategoryzacji – zadanie badawcze 1**) należy prowadzić kontrolę zawartości metanu w powietrzu metanomierzami przenośnymi o konstrukcji przeciwwybuchowej, a w przypadkach:
 - wiercenia otworów drenażowych oraz badawczych,
 - podczas likwidacji wyrobisk, w razie niestosowania automatycznych zabezpieczeń metanometrycznych,
 - w innych miejscach, określonych przez kierownika ruchu zakładu górniczego lub osobę przez niego wyznaczoną,stosuje się przenośne metanomierze alarmujące.
- W wyrobiskach w pokładzie II kategorii ZM i w polach II kategorii ZM (**wg propozycji nowej kategoryzacji – zadanie badawcze 1**) stosuje się kontrolę zawartości metanu w powietrzu oraz zabezpieczenia urządzeń elektrycznych za pomocą urządzeń metanometrii automatycznej, umożliwiających ciągły pomiar i rejestrację zawartości metanu oraz wyłączenie urządzeń elektrycznych w czasie nie dłuższym niż 15 sekund.

II. Zasady kontroli zawartości metanu w powietrzu metanomierzami przenośnymi.

II.1. Kontrola zawartości metanu w powietrzu metanomierzami przenośnymi.

Kontrolę należy prowadzić się w następujących miejscach:

- pod stropem wyrobiska, nie niżej niż 10 cm od najwyższego miejsca niezabudowanego stropu, szczelnej obudowy lub okładziny obudowy
- nad obudową wyrobiska, w najwyższym dostępnym miejscu wyrobiska nad obudową,
- przy zrobach w chodniku wentylacyjnym dla powietrza wypływającego ze zrobów lub w powietrzu pobieranym za pomocą sond próbobiorczych zainstalowanych w zrobach dla kontroli zagrożenia pożarami endogenicznymi (według ustaleń kierownika działu wentylacji),
- w miejscach możliwych wpływów lub gromadzenia się metanu.

Kontrolę zawartości metanu w powietrzu metanomierzami przenośnymi prowadzą przodowi zatrudnieni w polach metanowych, metanarze i strzałowi. Dodatkowo w polach

metanowych na stanowisku pracy kontrolę zawartości metanu powinni prowadzić kombajnści, konserwatorzy metanometrii automatycznej, wyznaczeni pracownicy oddziału odmetanowania, wiertacze oraz osoby kierownictwa i dozoru ruchu. Kierownik ruchu zakładu górniczego ustala wyposażenie innych, przeszkolonych osób przebywających w polach metanowych, w metanomierze przenośne.

Miejsca, tryb i częstotliwość pobierania prób powinny być zgodne z aktualnie obowiązującymi przepisami. Kierownik ruchu zakładu górniczego ustala szczegółowy zakres kontroli zawartości metanu wykonywanych przez przodowych, kombajnistów, metaniarzy i strzałowych oraz osoby dozoru ruchu.

W przypadku zagrożenia pożarami endogenicznymi należy pobierać próby gazowe do analizy chromatograficznej ze zrobów w odległości od 10 do 60 m za frontem ściany poprzez pozostawianie zabezpieczonych linii pomiarowych w zrobach (przy systemie przewietrzania „Y”) lub z zabezpieczonych linii węzowych pozostawianych w likwidowanym chodniku nadścianowym (przy systemie przewietrzania „U”). W próbach gazowych określa się między innymi stężenie metanu.

II.2. Rejestracja i interpretacja wyników kontroli zawartości metanu w powietrzu metanomierzami przenośnymi

W zakładzie górniczym eksploatującym złoża (pokłady) metanowe wyznacza się metaniarzy oraz osoby wyższego dozoru ruchu w dziale wentylacji, odpowiedzialne za przeszkolenie, prawidłową pracę metaniarzy oraz za stan i gospodarowanie metanomierzami przenośnymi.

W pobliżu każdego przodka oraz w miejscach wyznaczonych przez osobę dozoru ruchu działu wentylacji umieszcza się tablicę kontroli metanu.

Wyniki pomiarów zawartości metanu wpisują:

- przodowi — na tablicy kontroli metanu,
- strzałowi — w dzienniczkach strzałowych,
- metaniarze — na tablicy kontroli metanu, w dzienniku metaniarza i książce metaniarza,
- osoby dozoru ruchu — na tablicy kontroli metanu, w notesach oraz w książce raportowej.

Kierownik działu wentylacji lub wyznaczona osoba wyższego dozoru ruchu działu wentylacji, raz na dobę, zapoznają się zapisami metanometrii automatycznej i wynikami pomiarów zawartości metanu zapisywanymi w książce metaniarza.

W razie wzrostu zagrożenia metanowego kierownik działu wentylacji opracowuje program profilaktyki metanowej i przedkłada do zatwierdzenia kierownikowi ruchu zakładu górniczego.

W przypadku stwierdzenia, w wyniku przeprowadzonych pomiarów nad obudową, zawartości 5% metanu lub powyżej niezwłocznie wstrzymuje się roboty w wyrobisku, przeprowadza dodatkowe pomiary dla ustalenia rozmiarów nagromadzenia metanu i miejsc wpływu metanu oraz podejmuje działania mające na celu likwidację zagrożenia. Kierownik działu wentylacji ustala wartości krytyczne stężeń metanu w powietrzu wpływającym ze zrobów lub w pobieranym za pomocą sond próbobiorczych zainstalowanych w zrobach (dla rejonów zagrożonych pożarami endogenicznymi **wg propozycji nowej kategoryzacji – zadanie badawcze 1**). Na tej podstawie przeprowadza ocenę zagrożenia metanowego i dobiera środki obniżające to zagrożenie.

III. Kontrola zagrożenia metanowego za pomocą urządzeń metanometrii automatycznej

III.1. Cele metanometrii automatycznej

W systemach metanometrii automatycznej i zabezpieczeń metanometrycznych urządzeń elektrycznych stosuje się metanomierze:

- o wyłączające spod napięcia urządzenia elektryczne,
- o rejestrujące wyniki pomiarów zawartości,
- o wyłączająco-rejestrujące.

Metanomierze wyłączające spod napięcia urządzenia elektryczne, stanowiące automatyczne zabezpieczenie metanometryczne urządzeń elektrycznych, powinny:

- samoczynnie wyłączać spod napięcia urządzenia elektryczne, gdy zawartość metanu w powietrzu przekroczy dopuszczalną wartość, z wyjątkiem urządzeń dopuszczonych do pracy przy dowolnej zawartości metanu;
- sygnalizować świetlnie lub akustycznie w dyspozytorni metanometrycznej i w miejscu zabudowy metanomierza przekroczenia dopuszczalnych zawartości metanu w powietrzu;
- wskazywać lub rejestrować w dyspozytorni metanometrycznej lub w miejscu zabudowy metanomierza zawartość metanu w powietrzu.

Metanomierze rejestrujące, stosowane dla automatycznej kontroli zawartości metanu w powietrzu, powinny:

- rejestrować w dyspozytorni metanometrycznej zawartości metanu w wyrobiskach,
- sygnalizować świetlnie lub akustycznie w dyspozytorni metanometrycznej i w miejscu zabudowy metanomierza przekroczenia dopuszczalnych zawartości metanu w wyrobiskach.

Metanomierzami wyłączająco-rejestrującymi zabezpiecza się urządzenia elektryczne zainstalowane w ścianie oraz w wyrobiskach przyścianowych. W przypadku zagrożenia pożarami endogenicznymi rejon ścian przewietrzanych na "U" w polach metanowych winien być zabezpieczony dodatkowymi czujnikami metanowymi wyłączająco-rejestrującymi w systemie metanometrii automatycznej.

W razie przekroczenia zawartości 2% metanu w powietrzu wypływającym ze ściany lub zawartości 1 % metanu w powietrzu dopływającym do ściany, metanomierze powinny wyłączać spod napięcia urządzenia elektryczne zabudowane:

- w ścianie,
- w wyrobisku przyścianowym z prądem powietrza wypływającym ze ściany,
- w wyrobisku przyścianowym z prądem powietrza dopływającym do ściany, na odcinku co najmniej 10 m od wlotu do ściany.

III.2. Lokalizacja czujników metanomierzy automatycznych

Sposoby rozmieszczania czujników metanometrii związane są z systemami przewietrzania ścian eksploatacyjnych.

Czujniki metanomierzy kontrolujące zawartość metanu w prądzie powietrza wypływającego ze ściany zabudowuje się pod stropem:

- w wyrobisku przyścianowym — w odległości nieprzekraczającej 10 m od wylotu ze ściany, jeżeli na wylocie nie łączą się prądy powietrza,
- w ścianie — w odległości do 2 m od wyrobiska przyścianowego, jeżeli na wylocie łączą się prądy powietrza.

Czujnik metanomierza kontrolujący zawartość metanu w prądzie powietrza dopływającym do ściany zabudowuje się pod stropem w ścianie, w odległości nie większej niż 10 m od wyrobiska przyścianowego.

W ścianach o wysokości mniejszej niż 1,5 m, w których wyposażenie techniczne uniemożliwia zabudowanie czujnika metanomierza pod stropem, kierownik działu wentylacji wyznacza miejsce zabudowy czujnika lub czujników w wyrobiskach przyścianowych z prądem powietrza dopływającym do ściany, w odległości nie większej niż 10 m od wlotu do ściany.

Zawartość metanu na wylocie z rejonów wentylacyjnych, w których prowadzone są roboty wybierkowe, kontroluje się metanomierzami rejestrującymi. Pomiar zawartości metanu w rejonie wentylacyjnym, w którym prowadzone są roboty wybierkowe, dokonują czujniki metanomierza rejestrującego pod stropem wyrobiska w prądzie wylotowym ze ściany lub zespołu ścian między wylotem ostatniej ściany a skrzyżowaniem z innym, czynnym wentylacyjnie wyrobiskiem.

W polach zagrożonych wyrzutami gazów i skał metanometria automatyczna powinna wyłączać urządzenia elektryczne w czasie nie dłuższym niż 15 sekund po przekroczeniu dopuszczalnej zawartości metanu w powietrzu.

W wyrobiskach, w pokładach zagrożonych wyrzutami gazów i skał stosuje się automatyczny pomiar zawartości metanu lub dwutlenku węgla, połączony z automatyczną sygnalizacją alarmową, ostrzegającą załogę, o przekroczeniu dopuszczalnych zawartości tych gazów w powietrzu. Próg alarmowy ww. urządzeń nastawia się na 2% metanu oraz 1% dwutlenku węgla. Przy przekroczeniu progu alarmowego niezwłocznie wycofuje się ludzi.

W rejonowych prądach powietrza wypływających z zagrożonych wyrobisk zabudowuje się urządzenia dla automatycznych pomiarów zawartości, odpowiednio metanu lub dwutlenku węgla w powietrzu z rejestracją wskazań w dyspozytorni.

Lokalizacja czujników metanometrycznych, zasięg oraz zakres wyłączeń urządzeń elektrycznych przez metanometrię automatyczną powinny być ustalane zgodnie z aktualnie obowiązującymi przepisami.

W ścianach o wysokiej koncentracji wydobywania, prowadzonych w warunkach dużego zagrożenia metanowego (**II kategorii ZM wg propozycji nowej kategoryzacji – zadanie badawcze 1**) lokalizacja czujników zgodnie z przepisami nie zawsze musi być wystarczająca. Dodatkową lokalizację czujników metanometrycznych ustala kierownik działu wentylacji. Lokalizacja czujników metanometrii powinna być związana z warunkami lokalnymi danej ściany, jak również lokalizacją dodatkowych, pomocniczych urządzeń wentylacyjnych, które są zabudowywane w celu niedopuszczenia do powstawania nagromadzeń niebezpiecznych stężeń metanu na skrzyżowaniach ścian z chodnikami przyścianowymi.

W celu niedopuszczenia do powstawania nagromadzeń niebezpiecznych stężeń metanu na skrzyżowaniach ścian z chodnikami przyścianowymi w kopalniach węgla kamiennego należy stosować układy pomocniczych urządzeń wentylacyjnych. Spełniają one istotną rolę w kontroli zagrożenia metanowego. Lokalizacja dodatkowych czujników w rejonie ściany eksploatacyjnej zależy od rodzaju i sposobu rozmieszczania pomocniczych urządzeń wentylacyjnych.

III.3. Kontrola i konserwacja systemu metanometrii automatycznej

W przypadku uszkodzenia zabezpieczenia metanometrycznego, zabezpieczane maszyny, urządzenia i instalacje elektryczne wyłącza się spod napięcia do czasu usunięcia uszkodzenia.

W zakładzie górniczym eksploatującym złoża (pokłady) zaliczone do II kategorii zagrożenia metanowego (**wg propozycji nowej kategoryzacji – zadanie badawcze 1**),

wyznacza się dyspozytora metanometrii, organizuje służbę, dla zapewnienia konserwacji i kontroli urządzeń metanometrii automatycznej oraz konserwacji i kontroli metanomierzy przenośnych, wyznacza osobę wyższego dozoru ruchu w dziale energomechanicznym, odpowiedzialną za stan oraz użytkowanie urządzeń metanometrii automatycznej. W zakładach górniczych, stosujących mniej niż 20 metanomierzy automatycznych, dopuszcza się pełnienie obowiązków dyspozytora metanometrii przez dyspozytora ruchu. Obowiązki dyspozytora metanometrii, jego kwalifikacje oraz zasady współdziałania z dozorem ruchu i odpowiednimi służbami ustala kierownik ruchu zakładu górnego.

Wyniki pomiarów metanometrii automatycznej na bieżąco obserwuje się, analizuje i dokumentuje.

Prawidłowość zabudowy czujników metanometrii automatycznej kontrolują osoby dozoru ruchu oddziałowego, metaniarze, konserwatorzy metanomierzy automatycznych.

Częstotliwość kontroli właściwego zabudowania czujników określają aktualnie obowiązujące przepisy. Kierownik ruchu zakładu górnego ustala szczegółowy zakres kontroli zawartości metanu wykonywanych przez przodowych, kombajnistów, metaniarzy i strzałowych oraz osoby dozoru ruchu.

Prawidłowość działania czujników metanometrii automatycznej kontroluje się za pomocą mieszanek wzorcowych, o stężeniu metanu większym o 0,2% od ustalonego progu zadziałania czujnika.

III.4. Rejestracja zapisów metanometrii automatycznej

Kierownik działu wentylacji lub wyznaczona osoba wyższego dozoru ruchu działu wentylacji, zapoznają się z zapisami metanometrii automatycznej oraz wynikami pomiarów zawartości metanu zapisywanymi w książce metaniarza z częstotliwością co najmniej raz na dobę.

W razie wzrostu zagrożenia metanowego kierownik działu wentylacji opracowuje program profilaktyki metanowej i przedkłada do zatwierdzenia kierownikowi ruchu zakładu górnego.

IV. Podsumowanie

Porównując sposoby kontroli zagrożenia metanowego w innych krajach należy stwierdzić, że polskie przepisy górnicze **szczegółowo i właściwie** regulują zasady kontroli i zabezpieczenia metanometrycznego w rejonach eksploatacyjnych. System zabezpieczenia metanometrycznego w polskich kopalniach podziemnych nie różni się znacząco od systemów w innych krajach.

W warunkach dużego zagrożenia metanowego i pożarowego przy przewietrzaniu ściany na „U” należy prowadzić obserwację stężenia metanu i innych gazów w zrobach od strony likwidowanego chodnika wentylacyjnego. Przy przewietrzaniu na „Y” obserwację gazów w zrobach można prowadzić za pomocą zabezpieczonych linii węzowych od strony utrzymywanego ociosu odzawałowego.

Interpretacja zmian parametrów atmosfery w zrobach stanowi jeden z czynników do oceny zagrożenia pożarem endogenicznym i zagrożenia metanowego w rejonie ściany

Stan zagrożenia metanowego oceniany powinien być między innymi na podstawie interpretacji zapisów rejestracji stężeń metanu z czujników metanometrii automatycznej. Sposoby rozmieszczania czujników metanometrii związane są z systemami przewietrzania ścian eksploatacyjnych. Lokalizacja dodatkowych czujników metanometrii powinna być związana z warunkami lokalnymi danej ściany, jak również lokalizacją dodatkowych, pomocniczych urządzeń wentylacyjnych, które są zabudowywane w celu niedopuszczenia do

powstawania nagromadzeń niebezpiecznych stężeń metanu na skrzyżowaniach ścian z chodnikami przyścianowymi. Czujniki te stanowią uzupełniającą rolę w kontroli zagrożenia metanowego. Lokalizacja dodatkowych czujników w rejonie ściany eksploatacyjnej zależy więc od rodzaju i sposobu rozmieszczania pomocniczych urządzeń wentylacyjnych.

Upowszechnienie wyników zadania badawczego

Do dnia zakończenia projektu badawczego opublikowano następujące prace:

1. Kubaczka Cz., Szlązak N.: Zmiany wydzielania metanu w czasie prowadzenia eksploatacji ścian w pokładach metanowych. Materiały Szkoły Podziemnej Eksploatacji, Kraków 2013
2. Szlązak N., Obracaj D., Borowski M., Swolkień J., Korzec M.: Monitoring and controlling methane hazard in excavations in hard coal mines, AGH Journal of Mining And Geoengineering, vol. 37, No. 1, Kraków 2013
3. Szlązak N., Obracaj D., Borowski M., Swolkień J., Korzec M.: Metody oceny zagrożenia metanowego w wyrobiskach kopalń węgla kamiennego. XXXVIII Dni Techniki ROP' 2012 XXIX Seminarium Zwalczanie zagrożenia meta nowego i pożarowego w kopalniach węgla kamiennego- teoria i praktyka. Naczelna Organizacja Techniczna SITG, Rybnik, 2012
4. Nikodem Szlązak, Justyna Swolkien, Dariusz Obracaj: Gas monitoring as a prevention system of mine workings in Polish Coal Mines. The Thirtieth Annual International Pittsburgh Coal Conference, Beijing, China, September 16 - 19, 2013

Konferencje, na których przedstawiono wyniki zadania badawczego:

1. XXXVIII Dni Techniki ROP' 2012 XXIX Seminarium Zwalczanie zagrożenia meta nowego i pożarowego w kopalniach węgla kamiennego- teoria i praktyka. Naczelna Organizacja Techniczna SITG, Rybnik, 2012r.
2. Seminarium w ramach Projektu Strategicznego „Poprawa bezpieczeństwa pracy w kopalniach” w Akademii Górniczo – Hutniczej w Krakowie w dniu 24.10.2012r.
3. Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Kraków 2013r.
4. The Thirtieth Annual International Pittsburgh Coal Conference, Beijing, China, September 16 - 19, 2013r.