

Kazimierz Biernacki, Krystian Kropsz

WENTYLACYJNY SPOSÓB ZMNIEJSZENIA ZAGROŻENIA POWIERZCHNI PRZY WYRZUTACH CO_2 W KOPALNIACH WĘGLA

Streszczenie. Podano sposób zmniejszenia zagrożenia powierzchni po wyrzutach CO_2 w kopalni, polegający na wykonaniu spięcia prądu wypływającego z kopalni z atmosferą poprzez otwarcie klap rewersyjnych lub zamknięcia szybu wentylacyjnego.

Omówiono korzystne efekty wynikające z zastosowanego zabezpieczenia oraz wpływ poszczególnych efektów na zmniejszenie zagrożenia.

1. Wstęp

W kopalniach zagrożonych wyrzutami gazowo-skalnymi niebezpieczeństwo związane z wydzielaniem się CO_2 nie ogranicza się tylko do wyrobisk podziemnych. Przy większym wyrzucie dwutlenek węgla, posiadający często stężenia śmiertelne, po wypłynięciu na powierzchnię może gromadzić się w pobliżu szybu. Brak było dotychczas zabezpieczenia powierzchni, a jedynym sposobem uniknięcia wypadków uduszenia była ewakuacja ludzi z terenów zagrożonych.

W pracy podano nowy wentylacyjny sposób zmniejszenia zagrożenia na powierzchni, a nawet całkowitą eliminację tego zagrożenia przy niezbyt dużych wyrzutach CO_2 .

2. Rodzaj zagrożenia

W niektórych kopalniach węgla występują wyrzuty gazowo-skalne, w czasie których wydzielają się do wyrobisk górniczych duże ilości CO_2 . Przy dużych wyrzutach ilości wydzielonego CO_2 mogą wynosić nawet setki tysięcy m^3 [1] [2]. Oczywiście jest, że wydzielony CO_2 musi wypłynąć szybami wentylacyjnymi na powierzchnię. Stężenie CO_2 w powietrzu wypływającym z kopalni jest bardzo duże i teoretycznie (przy założeniu, że gaz wydzielony z calizny składa się w 100% z CO_2) może wynosić 100%.

Powietrze kopalniane zawierające duże ilości CO_2 posiada znacznie większą gęstość od powietrza atmosferycznego. Po wypłynięciu na powierzchnię powietrze to będzie się więc gromadzić w pobliżu powierzchni ziemi, a szczególnie we wszystkich obniżeniach terenu. W takich miejscach stężenie

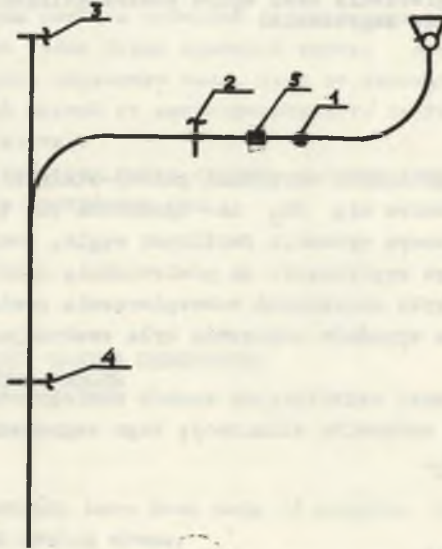
CO_2 może osiągnąć nieraz wartości śmiertelne i spowodować wypadki uduszenia.

3. Proponowane zabezpieczenie

Obecnie praktycznie brak jest możliwości zmniejszenia zagrożenia, wywołanego przez wypływający dwutlenek węgla. Wynika to w głównej mierze z dużych jego ilości wydzielających się na powierzchnię.

W celu zmniejszenia zagrożenia autorzy proponują następujące zabezpieczenie.

W czasie wypływu CO_2 przez wentylator należy wytworzyć spięcie z atmosferą, tzn. otworzyć kłapy rewersyjne lub zamknięcie szybu (rys. 1).

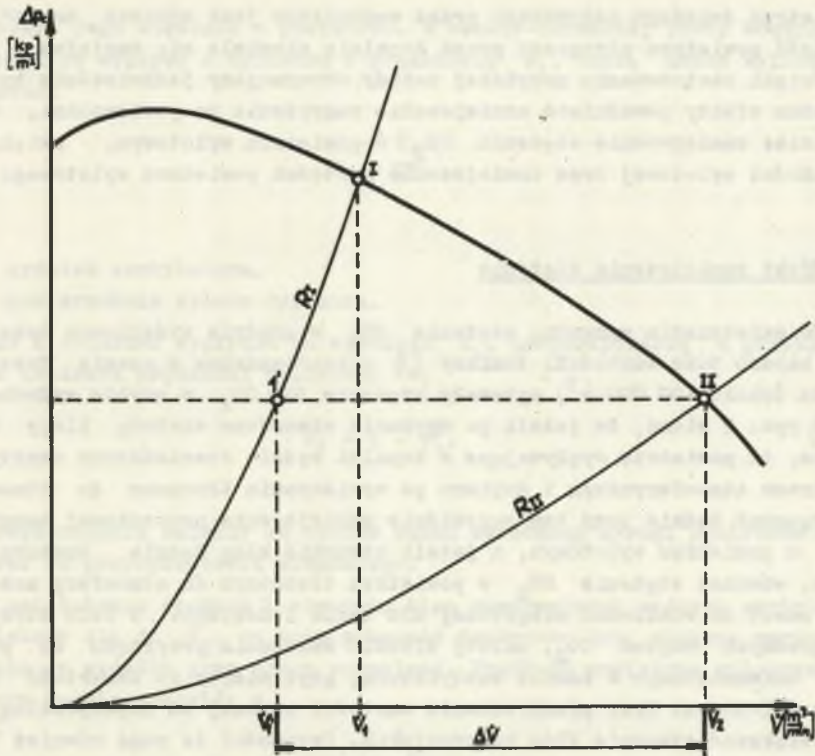


Rys. 1

1 - przyrząd mierzący stężenie CO_2 w kanale wentylacyjnym, 2 - zasuwa główna, 3 - zamknięcie szybu, 4 - zasuwa w szybie wentylacyjnym, 5 - kłapy rewersyjne

Dla zautomatyzowania powyższych czynności lub też w celu zorientowania obsługi wentylatora o stężeniu CO_2 w powietrzu wypływającym do atmosfery, w kanale wentylatora powinien być umieszczony przyrząd mierzący w sposób ciągły zawartość CO_2 . Musi istnieć przy tym możliwość odczytania wartości CO_2 wskazywanej przez ten przyrząd w pomieszczeniu obsługi.

Kłapy rewersyjne (lub zamknięcie szybu) powinny otwierać się w szerokim zakresie, dzięki czemu można będzie zmniejszać opór sieci wentylacyjnej nawet kilkakrotnie. Po otwarciu kłap rewersyjnych wentylator zasysa przez powstałe otwory świeże powietrze (rys. 2), gdyż opór sieci gwałtownie



Rys. 2

R_I - opór kopalni, na którym normalnie pracuje wentylator, R_{II} - opór, na którym pracuje wentylator po otwarciu klap rewersyjnych, I - normalny punkt pracy wentylatora, II - punkt pracy wentylatora po otwarciu klap rewersyjnych, \dot{V}_1 - natężenie przepływu powietrza przez wentylator i kopalnię przy normalnej pracy, \dot{V}_2 - natężenie przepływu powietrza przez wentylator po otwarciu klap rewersyjnych, \dot{V}_1' - natężenie przepływu powietrza przez kopalnię po otwarciu klap rewersyjnych, $\Delta\dot{V}$ - ilość powietrza zasysanego z atmosfery

nie maleje. Po otwarciu klap rewersyjnych maleje również ilość powietrza płynącego przez kopalnię, ale zmiana ta nie jest zbyt duża. Poważnej zmiany ulega natomiast ilość powietrza płynącego przez wentylator, gdyż dzięki zasysaniu świeżego powietrza w ilości $\Delta\dot{V}$ wzrasta do \dot{V}_2 . Ze względu na zmniejszenie się ilości powietrza płynącego przez kopalnię zabezpieczenie to można stosować tylko wówczas, gdy brak jest załogi na dole kopalni lub też jest ona przygotowana na możliwość dłuższego przebywania w atmosferze CO_2 , ponieważ CO_2 będzie przez dłuższy okres czasu utrzymywał się w wyrobisku niż wtedy, gdyby wentylator pracował normalnie.

Korzystniejsze w przypadku stosowania takiej metody są wentylatory o charakterystyce płaskiej, pracujące na sieci o dużym oporze, gdyż ilość

powietrza świeżego zasysanego przez wentylator jest wówczas bardzo duża, a ilość powietrza płynącego przez kopalnię niewiele się zmniejsza.

Dzięki zastosowaniu powyższej metody otrzymujemy jednocześnie trzy korzystne efekty powodujące zmniejszenie zagrożenia na powierzchni, a mianowicie: zmniejszenie stężenia CO_2 w powietrzu wylotowym, zwiększenie prędkości wylotowej oraz zmniejszenie gęstości powietrza wylotowego.

4. Efekt zmniejszenia stężenia

Po zaistnieniu wyrzutu, stężenie CO_2 w prądzie wydechowym może osiągać bardzo duże wartości. Pomiar [3] przeprowadzone w czasie dużego wyrzutu (około $100\ 000\ \text{m}^3$) wykazały stężenie 30% CO_2 w szybie wydechowym.

Z rys. 2 widać, że jeżeli po wyrzucie otworzone zostaną kłapy rewersyjne, to powietrze wypływające z kopalni będzie rozcieńczone czystym powietrzem atmosferycznym i dopiero po wymieszaniu tłoczone do atmosfery. Następować będzie przy tym oczywiście zmniejszenie procentowej zawartości CO_2 w powietrzu wylotowym, a jeżeli otwarcie kłap będzie wystarczająco duże, wówczas stężenie CO_2 w powietrzu tłoczonym do atmosfery może zmaleć nawet do wielkości niegroźnej dla życia ludzkiego. W celu otrzymania niegroźnych stężeń CO_2 , należy śledzić wskazania przyrządu do pomiaru CO_2 umieszczonego w kanale wentylatora, gdyż mierzy on zawartość w prądzie wylotowym. Przy przekroczeniu wartości uznanej za dopuszczalną należy zwiększać otwarcie kłap rewersyjnych. Czynności te mogą również być wykonywane automatycznie i sterowane przez przyrząd mierzący stężenia CO_2 .

Przy wyrzutach dużych, gdy stężenia CO_2 są bardzo wysokie, można sztucznie zwiększać opór kopalni przez przemykanie zasowy umieszczonej w szybie wentylacyjnym. Uzyskujemy wówczas zmniejszenie ilości CO_2 wypływającego z kopalni, a tym samym możemy łatwiej go rozcieńczyć do wartości nieszkodliwych. Oczywiście nie można zamykać zasowy w szybie głównym, gdy istnieje niebezpieczeństwo wypływu CO_2 szybami wdechowymi.

5. Efekt zwiększenia prędkości wylotu

Powietrze wypływające z kopalni do atmosfery opuszcza dyfuzor z pewną określoną prędkością, proporcjonalną do ilości powietrza. Ponieważ powietrze wylatuje z dyfuzora pionowo (lub prawie pionowo) do góry, więc porusza się ono aż do pewnej wysokości, zależnej od prędkości początkowej. Im większa jest wysokość do jakiej zostaje wyrzucone powietrze zawierające CO_2 , tym trudniej CO_2 będzie opadał, ponieważ ulegnie wymieszaniu z czystym powietrzem. Ponadto na większej wysokości istnieją silniejsze wiry i prądy powietrza, które będą powodować rozcieńczenie CO_2 i tym samym

zmniejszenie jego stężenia w powietrzu. W czasie normalnej pracy wentylatora powietrze wypływa z dyfuzora z prędkością w_1 , którą można wyliczyć z zależności

$$w_1 = \frac{\dot{V}_1}{A}$$

gdzie:

\dot{V}_1 - wydatek wentylatora,

A - powierzchnia wylotu dyfuzora.

Powietrze z dyfuzora wypłynie na wysokość h_1 , proporcjonalną w przybliżeniu do kwadratu prędkości wylotowej w_1

$$h_1 = k \cdot w_1^2, \quad (1)$$

gdzie:

k - współczynnik zależny od oporów ruchu swobodnej strugi powietrza oraz od przyspieszenia ziemskiego.

Przy zaistnieniu wyrzutu i otwarciu klap rewersyjnych wydatek wentylatora zwiększy się do \dot{V}_2 , co może stanowić dwukrotną lub większą wartość w stosunku do wydatku przy pracy normalnej. Prędkość powietrza wylotowego z dyfuzora będzie wynosić: w_2

$$w_2 = \frac{\dot{V}_2}{A}$$

Po otwarciu klap rewersyjnych wysokość, na jaką wypłynie powietrze z dyfuzora będzie wynosić:

$$h_2 = k \cdot w_2^2 \quad (2)$$

Ze związków (1) i (2) można utworzyć stosunek

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{k w_2^2}{k w_1^2}$$

stąd

$$h_2 = h_1 \left(\frac{w_2}{w_1} \right)^2 = h_1 \left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} \right)^2$$

Z powyższych rozważań widać, że wysokość jaką osiągnie strumień powietrza jest proporcjonalna (oczywiście z pewnym przybliżeniem) do kwadratu ilości powietrza wypływającego z dyfuzora.

Ponieważ po otwarciu klap powinno się uzyskać dwu- i więcejkrotny wzrost wydatku wentylatora, więc wysokość, na jaką będzie wznosił się strumień, wzrośnie cztero- i więcejkrotnie w stosunku do wysokości strumienia przy normalnej pracy wentylatora. Tak duży wzrost wysokości poważnie zmniejsza możliwość opadnięcia CO_2 na powierzchnię ziemi.

6. Efekt zmniejszenia gęstości powietrza wylotowego

Przyczyną powstawania zagrożenia na powierzchni w czasie wyrzutów CO_2 jest jego duża gęstość. Po wypłynięciu do atmosfery, powietrze zawierające CO_2 dzięki dużej gęstości zaczyna opadać w dół i gromadzi się w zagłębieniach terenu. Ruch opadającego powietrza zawierającego CO_2 możemy potraktować w przybliżeniu jako swobodne opadanie kuli w płynie, gdzie zgodnie z prawem Stokesa [4]

$$F = 6\pi\eta r w,$$

gdzie:

- F - siła oporu tarcia,
- η - lepkość,
- r - promień opadającej kuli,
- w - prędkość opadającej kuli,

skąd

$$w = \frac{F}{6\pi\eta r}.$$

Widać stąd, że prędkość spadającej objętości powietrza zawierającego CO_2 będzie zależać od siły wypadkowej działającej na tę objętość. Chcąc prześledzić jak duży będzie miało wpływ zmniejszenie stężenia CO_2 w powietrzu wylotowym (po zassaniu powietrza świeżego) na szybkość jego opadania, należy określić siły działające na objętość V - powietrza. Na objętość V powietrza zawierającego CO_2 działają siły wyporu, ciężaru oraz oporu w czasie ruchu. Suma wszystkich sił musi równać się zeru.

Siła wyporu

$$W = \hat{V} \cdot \rho \cdot g,$$

- W - siła wyporu,
- \hat{V} - rozpatrywana objętość powietrza zawierającego CO_2 ,
- ρ - gęstość powietrza atmosferycznego,
- g - przyspieszenie ziemskie.

Ciężar

$$G = V \cdot \rho_1 \cdot g,$$

gdzie:

ϱ_1 - gęstość powietrza zawierającego CO_2 .

Siła oporu ruchu

$$F = 6\pi\eta r w.$$

Siła ciężaru skierowana jest w dół, a siła oporu i wyporu w górę, stąd

$$F + W = G,$$

$$F = G - W,$$

$$F = \dot{V}\varrho_1 \cdot g - V \cdot \varrho \cdot g,$$

$$F = Vg(\varrho_1 - \varrho) \text{ przyjmując } V = \frac{4}{3}\pi r^3 \text{ otrzymamy}$$

$$F = \frac{4}{3}\pi r^3 (\varrho_1 - \varrho) g,$$

prędkość opadania

$$w = \frac{F}{6\pi\eta r} = \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 (\varrho_1 - \varrho) g}{6\pi\eta r} = \frac{2gr^2(\varrho_1 - \varrho)}{9\eta}$$

$$w = k \cdot (\varrho_1 - \varrho)$$

gdzie $k = \frac{2gr^2}{9\eta}$ - wielkość stała.

Chcąc znaleźć jak duży wpływ ma zmniejszenie zawartości CO_2 na prędkość opadania powietrza wylotowego przyjmijmy:

$\varrho = 1,2$ - gęstość powietrza atmosferycznego,

$M = 29$ - masa cząsteczkowa powietrza atmosferycznego,

$x_1 =$ - zawartość CO_2 w powietrzu wylotowym po wyrzucie bez zastosowania otwierania klap rewersyjnych,

x_2 - zawartość CO_2 w powietrzu wylotowym po wyrzucie po otwarciu klap rewersyjnych,

ϱ_1 - gęstość powietrza zawierającego $x_1\%$ CO_2 ,

ϱ_2 - gęstość powietrza zawierającego $x_2\%$ CO_2 ,

dla przykładu:

$$x_1 = 30\% \text{ a } x_2 = 10\%.$$

W celu obliczenia gęstości ϱ_1 i ϱ_2 powietrza wylotowego wykorzystujemy równanie Clapeyrona

$$\frac{P}{\varrho} = RT$$

$$\varrho = \frac{P}{RT}$$

W celu obliczenia stałej gazowej mieszaniny [5] stosujemy wzór:

$$R_z = \frac{(MR)}{\Sigma(r_i M_i)},$$

gdzie:

r_i - procentowe udziały składników

M_i - masy cząsteczkowe składników

$$R_{z1} = \frac{(MR)}{\Sigma(r_i M_i)},$$

gdzie:

$$r_1 = 0,3 \quad M_1 = 44$$

$$r_2 = 0,7 \quad M_2 = 29$$

$$R_{z1} = \frac{848}{0,3 \cdot 44 + 0,7 \cdot 29} = 25,3$$

$$R_{z2} = \frac{848}{0,1 \cdot 44 + 0,9 \cdot 29} = 27,8,$$

gdzie:

$$r'_1 = 0,1 \quad M'_1 = 44$$

$$r'_2 = 0,9 \quad M'_2 = 29$$

Obliczamy gęstość powietrza wylotowego ϱ_1 i ϱ_2

$$\varrho = \frac{P}{RT} = 1,2$$

$$\varrho_1 = \frac{P}{R_1 T} = x$$

$$\frac{\varrho}{\varrho_1} = \frac{\frac{P}{RT}}{\frac{P}{R_1 T}} = \frac{R_{z1}}{R}$$

$$\varrho_1 = \varrho \cdot \frac{R}{R_{z1}} = 1,2 \cdot \frac{29,28}{25,3} = 1,39$$

$$\varrho_2 = \varrho \cdot \frac{R}{R_{z2}} = 1,2 \cdot \frac{29,28}{27,8} = 1,27$$

Z obliczeń wynika, że przy zawartości CO_2 w powietrzu 30% gęstość powietrza wyniesie 1,39, a przy zawartości CO_2 10% gęstość powietrza wyniesie 1,27 kg/m^3 .

Wstawiając do wzoru na prędkość opadania objętości powietrza zawierającego CO_2 , otrzymujemy prędkości dla obydwu przypadków:

$$w_1 = k(\varrho_1 - \varrho) = k(1,39 - 1,2) = 0,19 k$$

$$w_2 = k(\varrho_2 - \varrho) = k(1,27 - 1,2) = 0,07 k$$

dzieląc

$$\frac{w_2}{w_1} = \frac{0,07 \text{ k}}{0,19 \text{ k}} = \frac{0,07}{0,19} = 0,37$$

$$\underline{w_2 = 0,37 w_1}$$

Jakkolwiek założenia początkowe przy tych rozważaniach są obarczone dużymi niedokładnościami, to jednak wynik końcowy będzie bardziej dokładny ze względu na to, że podany jest w formie stosunku, a więc stała k , która może zawierać duże błędy, ulegnie wyeliminowaniu.

Obliczenia przybliżone wykonane dla podanego przypadku wykazują, że po rozcieńczeniu CO_2 od stężenia 30% do stężenia 10% prędkość opadania powietrza zawierającego CO_2 zmaleje do 0,37 tej prędkości, którą miało przy stężeniu 30%.

Jest to więc spadek prędkości prawie trzykrotny. Tym samym wzrosła czas opadania, a proporcjonalnie do niego wymieszanie dokładniejsze CO_2 z powietrzem atmosferycznym poprzez dyfuzję i poprzez istnienie zawirowań w atmosferze. Wynika z tego, że w miarę obniżania stężenia CO_2 w powietrzu maleje również możliwość jego opadania.

7. Wnioski

Proponowane zabezpieczenie daje trzy korzystne efekty omówione powyżej szczegółowo. Przybliżona ocena wielkości występujących efektów pokazała, że każdy z nich wywiera duży wpływ na zmniejszenie zagrożenia powierzchni. Dokładną ocenę uzyskanych efektów można by otrzymać dla konkretnych przypadków dokonując niezbędnych pomiarów pracy wentylatora i ruchu powietrza po opuszczeniu dyfuzora. Ponieważ wszystkie korzystne efekty występują jednocześnie, więc sumarycznie zabezpieczenie to powoduje bardzo duże, a nawet w niektórych przypadkach całkowite, zmniejszenie zagrożenia powierzchni i stanowi nowy możliwy do zastosowania środek poprawienia bezpieczeństwa na powierzchni.

LITERATURA

1. Komisja dla Spraw Zagrożeń Związanych z Wyrzutami Gazów i Skał w Kopalniach Węgla Kamiennego.
Ewidencja wyrzutów gazów i skał i wybrane prace z zakresu wyrzutów gazów i skał w kopalniach węgla kamiennego w Dolnośląskim Zagłębiu Węglowym.
2. Cis Józef, Suchodolski Zbigniew - Niektóre kierunki badań nad zagadnieniem wyrzutów gazów i skał w kopalniach dolnośląskich. Przegląd Górniczy 1967 Nr 5.
3. HałamaJ Władysław, Suchodolski Zbigniew, SzwaJgier Włodzimierz - Wyrzut gazów i skał w kopalni "Nowa Ruda". Wiadomości Górnicze 1962 Nr 3
4. Dryński Tadeusz - Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki.
5. Ochęduszek Stanisław - Termodynamika stosowana.

Р е з ю м е

Предложено метод уменьшения опасности поверхности после внезапных выбросов CO_2 в шахте, заключен в сделании соединения атмосферного воздуха с вентиляционной струей выходящей из шахты через раскрытые реверсивных затворов или перекрыты вентиляционного ствола. Указано положительные эффекты вытекающие с применения предложенного метода и влияние каждого эффекта на уменьшение опасности.

C o n t e n t s

The manner to diminish hazard of surface after the outbursts of CO_2 , relying on the making a short circuit air current flowing out from the mine with the atmosphere trough opening the reversion flap or opening the close of upcast shaft are given.

Advantageous effects resulting from employing assurance and influence particular efekts on diminish hazard are discussed.