

Praktyczne wykorzystanie rozmytości sieci wentylacyjnej kopalń rud miedzi

Streszczenie: Prowadzenie powietrza przez nieczynne wyrobiska i zroby jest dopuszczalne zgodnie z polskimi przepisami bezpieczeństwa tylko w kopalniach wydobywających kopaliny niepalne. W kopalniach amerykańskich (także w przeszłości w kopalniach niemieckich) stosowano system z upustami (ang. *bleeders*) powietrza przez nieczynne wyrobiska i zroby. Obecnie w kopalniach rud miedzi zastosowano podobny system, tworząc tzw. tunele wentylacyjne wygradzane w zrobach w celu odprowadzenia z powietrzem siarkowodoru wydzielającego się do wyrobisk czynnych. Istnienie w sieci wentylacyjnej niekontrolowanych lub trudno kontrolowanych dróg przepływu powietrza jest jej właściwością, którą można jednak wykorzystać. W celu odwzorowania powstałej sytuacji wentylacyjnej, bilansowania ilości płynącego powietrza oraz zawartego w nim gazu można wykorzystać grafy rozmyte. W grafach rozmytych relacje między węzłami są relacjami rozmytymi (ang. *fuzzy relations*), które przypisują każdemu połączeniu węzłów stopień przynależności do relacji rozmytej. Odwzorować można więc nimi sieć wentylacyjną lub jej część z różnorodnymi połączeniami wentylacyjnymi przez nieczynne wyrobiska i zroby.

Słowa kluczowe: system wentylacji bleeder, grafy i sieci rozmyte, zwalczanie zagrożenia gazowego.

The practical use of the fuzziness of the ventilation systems of copper mines

Summary: According to Polish regulations air can flow through closed workings only in mines of non-flammable minerals. In the past, American and German miners applied bleeders in closed workings and goaf. Currently similar system is used in copper mines. Special ventilation tunnels are created in goaf to remove hydrogen sulphide. Although, uncontrolled airways which are present in a ventilation network can be used. This situation can be described by fuzzy graphs and airflow can be balanced in this way as well as gas amount. Relations between nodes in fuzzy graphs are also fuzzy. Each connection is assigned by the level of affiliation to fuzzy relation. Thus, it can be a tool for presentation of a ventilation network or its part with variable ventilation connections through closed workings and goaf.

Keywords: bleeder, graphs and fuzzy networks, gas hazard fighting.

1. Wprowadzenie

W kopalniach rud miedzi zagrożenie gazowe od początku ich budowy związane było ze stosowaniem maszyn górniczych z napędem spalinowym tworzącym gazy toksyczne. Eksploatacja złoża rud miedzi w północno-zachodniej części Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego ujawniła jednak obecność w górotworze siarkowodoru. Jego wydzielanie do zrobów przyległych wyrobisk nie powoduje zagrożenia wybuchowego z uwagi na bardzo małą intensywność. Powstające stężenia siarkowodoru stwarzają jednak zagrożenie toksyczne dla załóg górniczych.

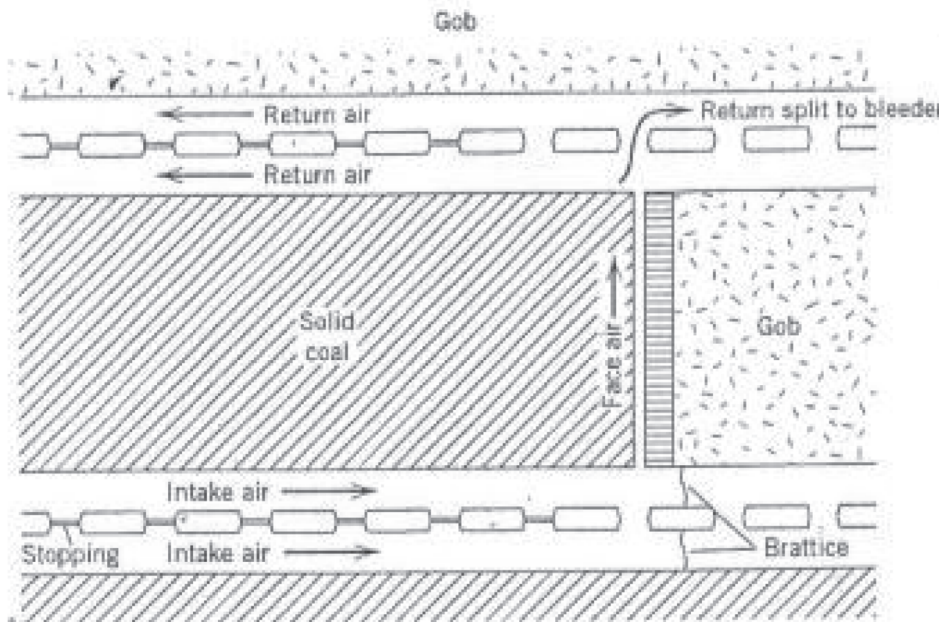
Likwidacja ujawniającego się zagrożenia gazowego w kopalniach rud miedzi musi opierać się przede wszystkim na działaniach wentylacyjnych, podobnie jak to ma miejsce w przypadku zwalczania zagrożenia metanowego w kopalniach węgla kamiennego.

Działania wentylacyjne muszą być dokumentowane, co wymaga korzystania z modeli kopalnianej sieci wentylacyjnej. Wykorzystywane obecnie przestrzenne i kanoniczne schematy przewietrzania nie odwzorowują jednak wyrobisk nieczynnych i zrobów zawalonych, które mogą być drogami odprowadzenia siarkowodoru do szybów wentylacyjnych. Potwierdzają to doświadczenia związane z odprowadzaniem metanu w kopalniach węgla kamiennego.

2. Odprowadzenie powietrza z metanem przez nieczynne wyrobiska i zrobry w kopalniach węgla kamiennego

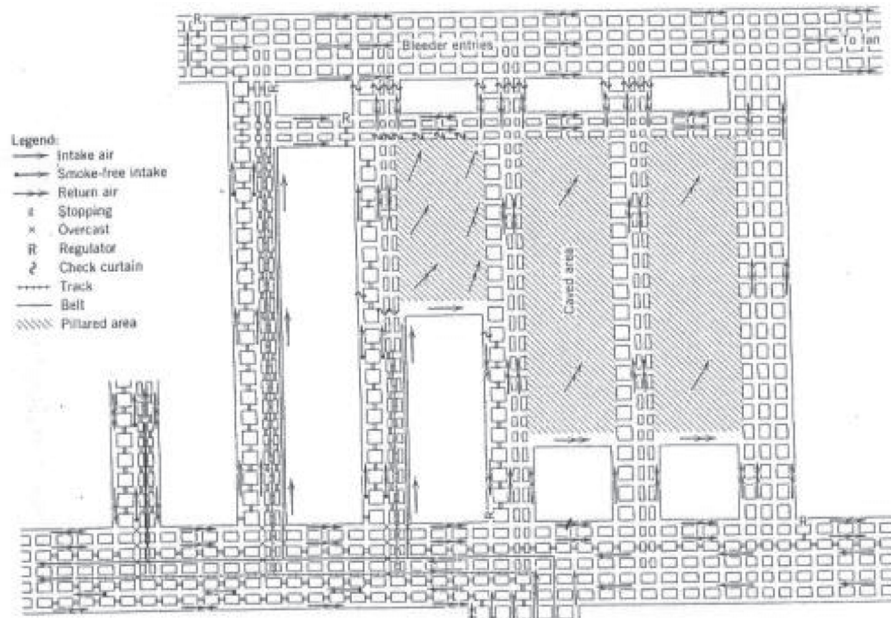
Projektując i prowadząc eksploatację pokładów węgla kamiennego w warunkach skojarzonego zagrożenia metanowo-pożarowego, unika się pozostawiania niezlikwidowanych wyrobisk przyścianowych za frontem ściany. W przypadku pozostawiania niezlikwidowanych wyrobisk wymagane jest ich przewietrzanie za pomocą lutniociągów tłoczących powietrze (Krause, Dziurzyński 2015, s. 57). Znajduje to odbicie w wymaganiach przepisów bezpieczeństwa. W zakładach górniczych wydobywających kopaliny niepalne, w których także nie występuje zagrożenie metanowe, powyższy problem nie istnieje.

Rozwiązania wentylacyjne w innych krajach są mniej restrykcyjne. W amerykańskich kopalniach węgla możliwe jest stosowanie tzw. systemu bleeder, w którym powietrze o kontrolowanym stężeniu metanu do 2% jest odprowadzane ze ściany lub komór eksploatacyjnych dodatkowo chodnikami pozostawionymi między zrobami, a także przez zrobry. Tworzone upusty (ang. *bleeders*) powietrza ograniczają dopływ metanu ze zrobów do skrzyżowania ściany lub frontu komorowo-filarowego z chodnikiem wentylacyjnym. Zasadnicze odprowadzanie powietrza było zwrotne, tworząc układ wentylacyjny typu U (rys. 1 i 2).



Rys. 1. Układ wentylacji typu U z upustem metanu przez nieczynne wyrobisko

Źródło: za Hartman i in. 1997, s. 494.



Rys. 2. System bleeder przy ścianowej eksploatacji pokładu węgla kamiennego

Źródło: za Hartman i in. 1997, s. 505.

System bleeder stosowany był również w niemieckich kopalniach węgla, ale wyparty został przez układ technologiczny polegający na doprowadzeniu w rejon wspomnianego skrzyżowania dodatkowego powietrza świeżego za pomocą lutniociągu. Tę modyfikację układu wentylacji typu U, upodabniającą go do kosztowniejszego układu typu Y, uznano za bezpieczniejszą.

W polskich kopalniach węgla po nielicznych próbach zastosowania systemu bleeder przyjęto rozwiązanie wykorzystujące lutniociąg doświeżający jako dopuszczalną przepięsami bezpieczeństwa modyfikację wentylacji typu U.

System bleeder może być jednak zastosowany nie tylko w celu „upuszczenia” metanu gromadzącego się w zrobach, ale również innych gazów.

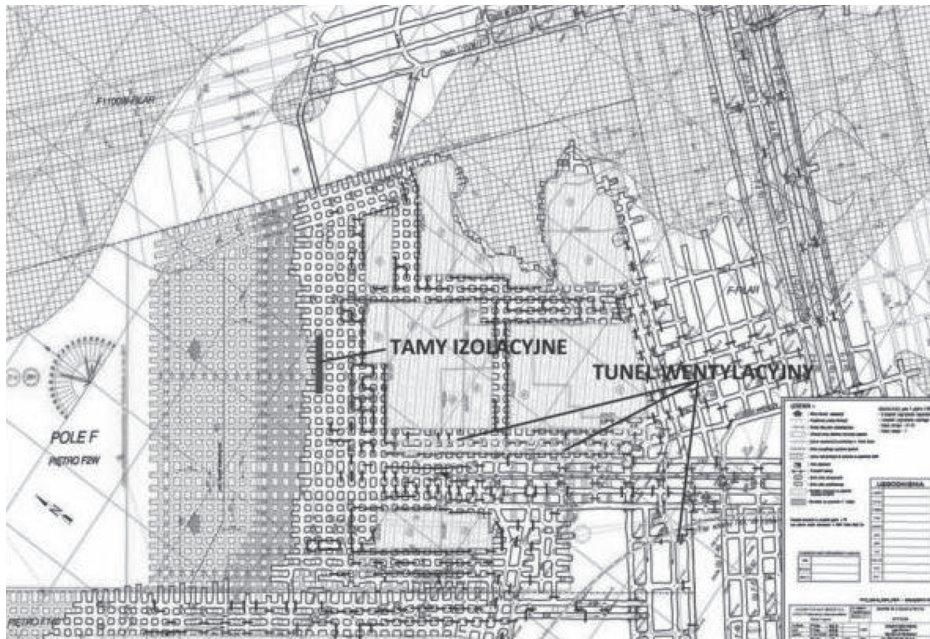
3. Odprowadzenie powietrza z siarkowodorem tunelami wentylacyjnymi wygradzanymi w zrobach w kopalniach rud miedzi

W 2010 r. stwierdzono występowanie siarkowodoru w obszarze górniczym „Sieroszowice” (Butra, Kijewski 2013). Jego obecność wiąże się z serią anhydrytów dolnych A1d oddzieloną od wyrobisk górniczych skałami węglanowymi Ca1 o zmiennej miąższości. Miąższość anhydrytów maleje w niektórych obszarach do kilku metrów, co przy stosowaniu komorowo-filarowego systemu eksploatacji z ugięciem stropu powoduje powstawanie spękań skał stropowych w fazie likwidacji przestrzeni wybranej. Spękania te mogą stanowić drogi emanacji siarkowodoru z nadległych anhydrytów do stref likwidowanych wyrobisk, na pasie przyzrobowym, ale przede wszystkim w przestrzeni zrobów. W pasie przycalinowym siarkowodór może się jednak pojawić po wystąpieniu wstrząsów wyso-koenergetycznych (Danis i in. 2014).

Aktywna profilaktyka mająca na celu ograniczenia lub likwidację zagrożeń siarkowodorem realizowana jest głównie poprzez działania wentylacyjne (Danis i in. 2014, Gola i in. 2014). Powiększona jest przede wszystkim ilość powietrza doprowadzanego do oddziałów eksploatacyjnych, w których występują zagrożenia gazowe. Tworzone są również wyizolowane tamami (z użyciem środków chemicznych) przestrzenie, z których odprowadza się gaz.

Wydziela się i szczelnie otamowuje wyrobiska stanowiące tzw. tunele wentylacyjne (rys. 3 na następnej stronie).

„W nomenklaturze kopalnianej tunelem wentylacyjnym nazywane jest wyrobisko (grupa wyrobisk), wyłączone z dostępu ludzi, służące do odprowadzenia do szybu wydechowego powietrza zawierającego stężenie gazów szkodliwych dla zdrowia” (Danis i in. 2014).



Rys. 3. Szkic wyrobisk z wyodrębnionymi tunelami wentylacyjnymi dla odprowadzenia emacji siarkowodoru w kopalni rudy miedzi

Źródło: Danis i in. 2014.

W dużym też stopniu wykorzystuje się regulację rozplywu powietrza w oddziałach eksploatacyjnych, aby odsunąć przepływ gazów zrobowych z siarkowodorem od frontu eksploatacyjnego w kierunku wyrobisk wentylacyjnych, a także wymuszać kierunek przepływu powietrza wraz z wydzielającym się siarkowodorem przez zroby eksploatacyjne (Gola i in. 2014).

Zastosowane rozwiązania wentylacyjne są możliwe dzięki wydobywaniu kopaliny niepalnej. Ich podobieństwo do rozwiązań zastosowanych w układach wentylacji typu U z upustami powietrza (*bleeders*) łatwo dostrzec. Pozwala to wykorzystać doświadczenie uzyskane w organizacji wentylacji z zastosowaniem systemu bleeder.

4. Trudności z ustaleniem granic kopalnianej sieci wentylacyjnej

Kopalniana sieć wentylacyjna, mimo że należy do grupy sieci przepływowych, nie jest typową siecią techniczną, jak np. sieć hydrauliczna, pneumatyczna lub gazowa. Elementy jej są nie tylko celowo włączane dzięki wykonywaniu wyrobisk, lecz również powstają samoistnie i przypadkowo w caliźnie, zrobach lub podsadce. Trudno też je z sieci odłączyć, gdyż izolacja tamami, gruzem skalnym, a nawet podsadzką hydrauliczną nie likwi-

duże całkowicie przepływu, a tym bardziej przenikania powietrza. W typowych sieciach technicznych remontuje się określony fragment sieci i usuwa zbędny element lub zamontowuje się potrzebny.

Wyrobiska zlikwidowane lub nieutrzymywane posiadają nie tylko kontakt wentylacyjny (przepływowy) z wyrobiskami czynnymi, lecz tworzą także między sobą różnorodne połączenia, „rozszerzając” tym samym strukturę sieci wentylacyjnej czynnej.

Trudno jest wyznaczyć dokładne granice rzeczywistej sieci wentylacyjnej, gdyż jest tworzona przeciw siłom przyrody, wiąż słabo poznanym.

Przy odwzorowaniu struktury sieciowej stosowane być muszą modele zapewniające ich podobieństwo strukturalne z oryginałem (siecią rzeczywistą). Odwzorowanie to w postaci map i schematów wentylacyjnych jest dostosowane przede wszystkim do funkcjonowania systemu wentylacyjnego w warunkach normalnych. Toteż widoczna w nich odrębność wentylacyjna między wyrobiskami jest w wielu przypadkach pozorna. W przypadku pojawienia się zagrożenia gazami istniejące oddzielenie wyrobisk nie zapobiegnie przemieszczeniu się gazów między nimi, a sformułowana na podstawie niepełnego odwzorowania struktury sieci wentylacyjnej ocena sytuacji gazowej może tego faktu nie uwzględnić. Okazuje się często, że z powodu uznania niektórych przepływów powietrza za „nieistotne” nie są one odwzorowane w żadnym (formalnym lub nieformalnym) modelu struktury sieci, a tym samym nie są kontrolowane (Sułkowski 1982).

Z drugiej strony przenoszenie się gazów z wyrobisk czynnych do wyrobisk wyłączonych z ruchu ludzi i maszyn (ale umożliwiających przepływ powietrza, a także przemieszczanie się gazów przez zroby zawalowe) może być wykorzystane w celu zwalczania zagrożenia gazowego. Tę własność sieci wentylacyjnej wykorzystywały już kopalnie węgla kamiennego, stosując upuszczania metanu (ang. *bleeding*) z rejonu wylotu ściany przewietrzanej w układzie typu U, i wykorzystują obecnie kopalnie rud miedzi, stosując kanały wentylacyjne dla odprowadzenia siarkowodoru. Najkorzystniej jest oczywiście odprowadzić powietrze zanieczyszczone szkodliwymi gazami do prądu powietrza wylotowego o dużym wydatku i jak najbliżej szybu wydechowego.

5. Wykorzystanie grafów rozmytych do odwzorowania struktury sieci wentylacyjnej kopalni lub jej części

Elementy fizyczne rzeczywistej sieci wentylacyjnej (wyrobiska w pełni czynne o ograniczonej funkcjonalności, otamowane, zarabowane itp.) lub jej części tworzą zbiór o nieznanej liczności:

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}.$$

Jego podzbiór $A \subset Y$ zawierający odwzorowanie na mapie lub schemacie wentylacyjnym stanowi zbiór rozmyty w sensie Zadeha (Zadeh 1965), utworzony z par uporządkowanych, co określa się formalnie:

$$\tilde{A} = \{y, \mu_a(y)\}.$$

Pierwszym składnikiem pary jest element $y \in Y$, a drugim tzw. stopień przynależności elementu y do zbioru \tilde{A} reprezentowany przez funkcję przynależności μ_a przekształcającą zbiór Y w zbiór liczb rzeczywistych odcinka $[0, 1]$.

Wybór funkcji przynależności jest subiektywny, gdyż opiera się na częściowej (np. z racji trudnej rozpoznawalności) informacji o elementach zbioru Y .

Relacje reprezentują istnienie lub brak związku między elementami dwóch bądź większej liczby zbiorów. Rozmycie pojęcia relacji polega na przypisaniu każdej parze czy n -tce elementów stopnia, w jakim elementy te pozostają ze sobą w związku nazwanym „stopniem przynależności do relacji rozmytej” (Łachwa 2001, s. 121–122). Do reprezentacji relacji binarnej rozmytej \tilde{R} określonej na skończonym zbiorze X można użyć grafu zorientowanego o łukach etykietowanych stopniami przynależności μ_r dla węzłów x_i oraz x_j zwanego grafem rozmytym. Brak łuku między dwoma węzłami oznacza zerowy stopień przynależności odpowiedniej pary elementów do relacji rozmytej.

Formalnie grafem rozmytym \tilde{G} jest para uporządkowana.

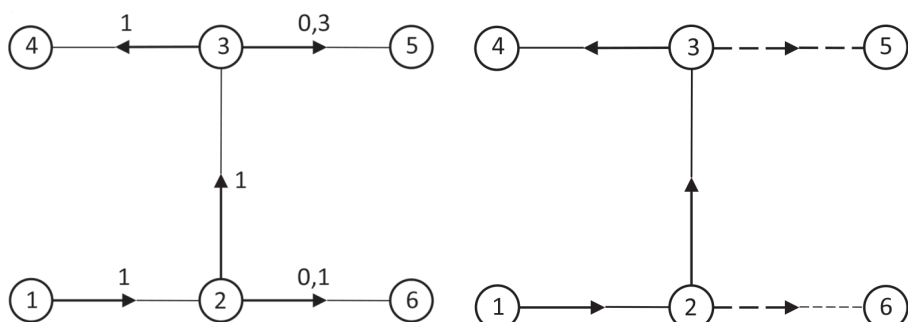
$$\langle X, \tilde{R} \rangle = \tilde{G}.$$

Modelujące kopalnianą sieć wentylacyjną schematy wentylacyjne są graficzną reprezentacją określonego grafu zorientowanego bądź niezorientowanego, w zależności od potrzeb jej analizy. Relacje między węzłami sieci można traktować jako relacje rozmyte.

Odwzorowujące rzeczywistą sieć wentylacyjną schematy wentylacyjne mogą być zatem konstruowane w postaci schematów rozmytych (Sułkowski 1982).

Wybór funkcji przynależności jest w ogólnym przypadku, jak już wspomniano wcześniej, subiektywny. Wykorzystać można zróżnicowane wartości oporów aerodynamicznych lub wydatków prądów powietrza charakteryzujących możliwości przepływu powietrza i gazów w wyrobiskach czynnych i zlikwidowanych oraz zrobach. W praktyce jest to trudne z uwagi na brak wielu danych. Wydaje się więc wystarczające zastosowanie jakościowego podziału wyrobisk i innych połączeń wentylacyjnych na klasy odpowiadające im umownym stopniom przynależności, kierując się funkcją, budową i rodzajem połączeń wentylacyjnych jako dróg przepływu powietrza lub gazów.

Przedstawienie funkcji przynależności nie musi być tylko liczbowe, w którym wykorzystuje się liczby rzeczywiste. Jeśli ograniczyć się do liczb wymiernych, to ich zbiór można zastąpić równolicznym zbiorem znaków graficznych, którego konstrukcję przedstawiono w pracy (Sułkowski 1982).



Rys. 4. Grafy rozmyte ściany przewietrzanej w układzie typu U z upustem metanu jak na rys. 1 z zastosowaniem liczbowej funkcji przynależności (a) oraz znaków graficznych (b)

Źródło: oprac. własne.

Znakami są odcinki linii o różnorodnej częstotliwości przerw. Mogą być one wykorzystane do etykietowania stopnia przynależności określonych połączeń wentylacyjnych na mapach czy schematach (zróznicowanie „strzałek” przepływu powietrza) lub do przedstawienia samych połączeń wentylacyjnych.

Na rysunkach 4a i b przedstawiono grafy rozmyte ściany przewietrzanej w układzie typu U z upustami metanu jak na rysunku 1 i zastosowaniem liczbowej funkcji przynależności (a) oraz znaków graficznych (b).

Sposób rysowania schematów wentylacyjnych i etykietowania prądów powietrza z zastosowaniem znaków graficznych jest znany w górnictwie od dawna, chociaż nigdy nie został sformalizowany, poza rozróżnieniem prądu powietrza doprowadzanego (powietrze świeże) i odprowadzanego (powietrze zużyte).

6. Podsumowanie

W przypadku wykorzystania do odprowadzenia powietrza zanieczyszczonego szkodliwymi gazami wyrobisk nieczynnych, a także zwałowych odwzorowanie sytuacji wentylacyjnej powinno być dokładniejsze. Należy kontrolować nie tylko kierunek rozptyłu powietrza, ale również ilości płynącego lub przenikającego powietrza. Z bilansowania rozptyłu powietrza uzyskuje się bowiem bilans gazowy, z którego można obliczać stężenie szkodliwego gazu w miejscach niedostępnych pomiarowo. Zastosowanie rozmytych schematów wentylacyjnych może być w tym pomocne.

Literatura

- [1] Butra J., Kijewski P., *Zagrożenia gazowe w kopalniach rud miedzi – zagrożenie siarkowodorem*, „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie” 2013, nr 7, s. 3–14.
- [2] Danis M., Gola S., Matusz C., *Problemy eksploatacji złoża zagrożonego tąpniętami w warunkach współwystępowania zagrożenia gazowego w ZG „Polkowice-Sieroszowice”*, „Przegląd Górniczy” 2014, nr 4, s. 23–29.
- [3] Gola S., Soroko K., Turkiewicz W., *Profilaktyka zagrożenia siarkowodorem a przykładzie oddziału G-63 w kopalni Polkowice-Sieroszowice*, „Cuprum – Czasopismo Naukowo-Techniczne Górnictwo Rud” 2014, nr 2, s. 43–53.
- [4] Hartman H. L., Mutmansky J. M., Ramani R. V., Wang Y. J., *Mine Ventilation and Air Conditioning*, John Wiley & Sons Inc. 3rd ed., New York 1997.
- [5] Krause E., Dziurzyński W., *Projektowanie eksploatacji pokładów węgla kamiennego w warunkach skojarzonego zagrożenia metanowo-pożarowego*, Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2015.
- [6] Łachwa A., *Rozmyty świat zbiorów, liczb, relacji, faktów, reguł i decyzji*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2001.
- [7] Sułkowski J., *Metody odwzorowania i miary struktur kopalnianych sieci wentylacyjnych*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej” 1982, nr 716.
- [8] Zadeh L. A., *Fuzzy sets*, „Information and Control” 1965, vol. 8, s. 338–353.