

# Rozwój narzędzi komputerowych do wariantowych symulacji procesu przewietrzania w aspekcie wyznaczania bocznic przekątnych w KSW

WACŁAW DZIURZYŃSKI, ANDRZEJ KRACH, TERESA PAŁKA

*Instytut Mechaniki Górotworu PAN, ul Reymonta 27, 30-059 Kraków*

## Streszczenie

Rozwój ujednoliconego oprogramowania o nazwie *VentGraph-Plus* w oparciu o system monitoringu kopalni i pomiary ręczne jest kontynuowany. Za istotne uznano zwiększenie użyteczności rozwijanego programu komputerowego o zagadnienie wyznaczania bocznic przekątnych w złożonej strukturze wyrobisk kopalni podziemnej. Uzasadnieniem takiego wyboru uzupełnienia są zdobyte doświadczenia oraz potrzeba opracowania narzędzi do realizacji na modelu numerycznym symulacji rewersji wentylacji. Zasadniczym celem takich symulacji jest wyznaczenia miejsc lokalizacji tam wentylacyjnych potrzebnych do przeprowadzenia rewersji rejonu ściany przewietrzanego prądem wznoszącym lub schodzącym. Ważnym elementem strategii prowadzenia manewru wentylacji jakim jest rewersja, jest ustalenie miejsc lokalizacji tam wentylacyjnych, które trzeba otworzyć lub zamknąć dla wykonania manewru rewersji. W tym zakresie ciągle brak zadawalającego narzędzia wspomagającego przygotowanie prowadzenia takich manewrów, szczególnie w sytuacji wystąpienia pożaru. Prowadzone prace mają znaczenie praktyczne w aspekcie zagrożenia metanowego i pożarowego w kopalniach podziemnych węgla kamiennego. W tym celu opracowano dodatkowe moduły programu komputerowego *VentGraph-Plus*, które umożliwią użytkownikowi sprawną jego obsługę w zakresie wyznaczenia bocznic przekątnych, będących podstawą do realizacji manewrów wentylacji prowadzących do rewersji.

W pracy przedstawiono krótki przegląd literatury zagadnienia, przyjętą metodę i zastosowany algorytm wyznaczenia bocznic przekątnych. Pracę kończy opis nowych opcji programu komputerowego oraz przykład wyznaczenia bocznic przekątnych dla wybranej złożonej struktury wyrobisk dla kilku wybranych kopalń. W podsumowaniu zawarto wnioski odnoszące się do metody wyznaczania bocznic i jej przydatności dla prowadzenia manewrów tamami dla uzyskania rewersji wentylacji.

**Słowa kluczowe:** bocznicie przekątne, rewersja wentylacji, zagrożenie pożarowe, system *VentGraph-Plus*

## 1. Wstęp

Pożar w świeżym prądzie powietrza niesie ze sobą szczególnie duże zagrożenie. Rozróżniamy tu pożary powstałe w szybach wdechowych, w rejonie podszybii, w grupowych prądach świeżego powietrza i w rejonach eksploatacji ścian. Pożary powstałe w wymienionych miejscach powodują w większości przypadków szybkie zadymienie dużej części kopalni. Rewersja prądu głównego lub rewersja lokalna powoduje zmiany rozkładu ciśnienia i wydatku przepływu powietrza, a w konsekwencji zmiany w rozkładzie stężenia metanu w zrobach i wyrobiskach kopalni. W przypadku kopalni metanowej dochodzi do zwiększenia zagrożenia pożarowego. Przykład pożaru w rejonie ściany N-12 w KWK „Krupiński” (Dziurzyński i Krause, 2012) potwierdza konieczność prowadzenia badań, których celem jest opracowanie sposobu realizacji rewersji wentylacji. Za istotne uznano uwzględnienie zagrożenia metanowego podczas prowadzenia rewersji wentylacji.

Bezpiecznym, a jednocześnie efektywnym sposobem jest wcześniejsze, przed wystąpieniem pożaru, ustalanie środków jakie trzeba podjąć dla przeprowadzenia rewersji lokalnej wraz z możliwymi zagrożeniami wynikającymi z ustalonych działań. Dobre rezultaty daje zastosowanie metody symulacji komputerowej prognozowania rozplywu gazów pożarowych w wyrobiskach górniczych (Dziurzyński i in., 2013). Ta metoda pozwala na dokonanie sprawdzenia wpływu różnych strategii działań prowadzących do bezpiecznego zwalczania następstw pożaru.

Wyznaczanie bocznic przekątnych w kopalnianej sieci wentylacyjnej jest zagadnieniem ważnym dla bezpieczeństwa pracy załóg górniczych, ponieważ bocznicę przekątną są to bocznicę, w odróżnieniu od normalnych, może nastąpić odwrócenie kierunku przepływu powietrza. Przyczyną odwrócenia może być celowa działalność w postaci zmian oporów sąsiednich bocznic przez stawianie tam wentylacyjnych. Inną przyczyną mogą być wypadki losowe takie jak zawały stropu, które również powodują zmianę oporu wyrobiska, a także pożary podziemne, które z powodu zmiany gęstości powietrza na skutek zmiany jego temperatury i co za tym idzie zmian depresji cieplnej, mogą spowodować odwrócenie się kierunku przepływu powietrza w bocznicę przekątną. Ten ostatni przypadek jest o tyle groźny, że pociąga za sobą zmianę dróg wolnych od zadymienia.

W wentylacji kopalń istnieją dwie podstawowe definicje bocznic przekątnych i normalnych. Czeczot (1925, 1957), Budryk (1961) i Bystroń (1957, 1958) podają definicję bocznic przekątnych i normalnych związaną z wrażliwością przepływu w bocznicę na zmiany oporów innych bocznic sieci wentylacyjnej:

- bocznicę przekątną jest to bocznicę, w której kierunek prądu powietrza zmienia się pod wpływem zmian oporów innych bocznic, a bocznicę normalną jest to bocznicę, w której kierunek prądu nie zmienia się przy zmianie oporów innych bocznic.

Inną definicję, opartą tylko na strukturze sieci podaje E. Simode i J. Sułkowski (Kolarczyk, 1994, 1998):

- bocznicę przekątną jest elementem sieci, którego orientację przy ustalonym wlocie i wylocie sieci można przedstawić na dwa sposoby, a bocznicę normalną jest elementem sieci, którego orientację można przedstawić tylko na jeden sposób.

Dalej przyjęto, że kopalniana sieć wentylacyjna przedstawiona jest w postaci spójnego grafu skierowanego, gdzie gałęzie (krawędzie) grafu odpowiadają bocznicom sieci wentylacyjnej, a węzły (wierzchołki) grafu odpowiadają węzłom sieci wentylacyjnej. Znany jest sposób wyznaczania przekątnych oparty na metodzie poszukiwania w głąb na grafie, w skrócie DFS – *depth-first search* (Tarjan, 1972; Narsingh Deo, 1974). Program komputerowy do wyznaczania bocznic przekątnych tą metodą opracował N. Szlązak z współautorami (1998). W prezentowanym poniżej tekście przedstawiono algorytm i program komputerowy wykorzystujący metodę wyznaczania bocznic przekątnych opisaną w artykule A. Kracha (2014). Ponieważ metodę wyznaczania bocznic przekątnych można stosować do sieci różnego rodzaju, a nie tylko do kopalnianych sieci wentylacyjnych, dalej będą używane nazwy często stosowane w teorii grafów, czyli węzły i gałęzie.

## 2. Metoda wyznaczania gałęzi przekątnych

Metoda wyznaczania gałęzi przekątnych w grafie przedstawiona w artykule A. Kracha (2014) bazuje na następującym twierdzeniu (Narsingh Deo, 1974):

$$\mathbf{A} \otimes \mathbf{P}^T(k, l) = \mathbf{M} \quad (1)$$

gdzie:

- $\mathbf{A}$  – macierz incydencji węzłowo-gałęziowej grafu nieskierowanego,
- $\mathbf{P}^T(k, l)$  – transponowana macierz ścieżek od  $k$ -tego węzła początkowego do  $l$ -tego węzła końcowego,
- $\mathbf{M}$  – macierz o następujących własnościach:
  - ma same jedynki w wierszach  $k$  i  $l$ ,
  - ma same zera w pozostałych wierszach,
- $\otimes$  – mnożenie modulo 2.

Macierz incydencji węzłowo-gałęziowej  $\mathbf{A}$  grafu nieskierowanego ma następujące własności:

element macierzy  $a_{i,j} = 1$  gdy  $i$ -ty węzeł należy do  $j$ -tej gałęzi,  
 $a_{i,j} = 0$  w przeciwnym razie.

Macierz ścieżek  $\mathbf{P}(k, l)$  między  $k$ -tym i  $l$ -tym węzłem grafu ma następujące własności:

Element macierzy  $p_{i,j} = 1$  gdy  $j$ -ta gałąź należy do  $i$ -tej ścieżki,  
 $p_{i,j} = 0$  w przeciwnym razie.

Warunek, aby w wierszu macierzy  $\mathbf{M}$  były same zera jest następujący:

- po pomnożeniu elementów wiersza macierzy  $\mathbf{A}$  przez elementy kolumny macierzy  $\mathbf{P}^T(k, l)$ , czyli przez elementy odpowiedniego wiersza macierzy  $\mathbf{P}(k, l)$ , w wierszu wynikowym powinny być same zera lub parzysta liczba jedynek, ponieważ tylko taka liczba jedynek zsumowana modulo 2 daje w wyniku 0, a ponieważ wiersze macierzy  $\mathbf{A}$  odpowiadają węzłom grafu, a węzły ścieżki są stop-

nia 2 (oprócz węzłów  $k$  i  $l$ , które są stopnia 1), to liczba jedynek w wierszu wynikowym musi być równa 0 lub 2.

Warunek, aby w wierszach  $k$  i  $l$  macierzy  $\mathbf{M}$  były same jedynki jest następujący:

- po pomnożeniu elementów wiersza  $k$  lub  $l$  macierzy  $\mathbf{A}$  przez elementy kolumny macierzy  $\mathbf{P}^T(k, l)$  w wierszu wynikowym powinna być nieparzysta liczba jedynek, ponieważ tylko taka liczba jedynek zsumowana modulo 2 daje w wyniku 1, a ponieważ wiersze macierzy  $\mathbf{A}$  odpowiadają węzłom grafu, a węzły  $k$  i  $l$  ścieżki są stopnia 1, to liczba jedynek w wierszu wynikowym musi być równa 1.

Mając macierz ścieżek można znaleźć gałęzie, należące jednocześnie do dwóch lub więcej ścieżek, które można przejść w przeciwnych kierunkach idąc tymi ścieżkami od węzła początkowego do końcowego ścieżek. Zgodnie z definicją podaną w rozdziale poprzednim są to gałęzie przekątne.

### 3. Algorytm wyznaczania gałęzi przekątnych

Algorytm wyznaczania gałęzi przekątnych w grafie wykorzystujący wyżej podane zależności zostanie przedstawiony w kolejnych krokach. Przyjęto, że topologia sieci wentylacyjnej kopalni zapisana jest w postaci listy gałęzi, czyli dwóch tablic jednowymiarowych  $\mathbf{W1}$  i  $\mathbf{W2}$ , gdzie pierwsza zawiera numery węzłów początkowych gałęzi, a druga – numery węzłów końcowych gałęzi. Indeksy  $j$  elementów  $w1_j$  i  $w2_j$  tych tablic są równe numerom gałęzi i zawierają się w granicach  $0 \dots J-1$ , gdzie  $J$  jest liczbą gałęzi grafu. Należy jeszcze wyznaczyć węzeł początkowy  $w_p$  i końcowy  $w_k$  ścieżek. Ponieważ w listach gałęzi używanych w obliczeniach rozplywu powietrza w sieci wentylacyjnej kopalni wloty do szybów wdechowych i wyloty z szybów wydechowych mają ten sam numer węzła (z reguły jest to nr 1), to w przypadku, gdy wyznacza się bocznicę przekątną w całej sieci wentylacyjnej kopalni, w pierwszej kolejności należy węzły wlotów i wylotów rozdzielić i węzłom wlotów do sieci nadać numer 0. Przyjmując, że  $I_p$  oznacza liczbę węzłów przed rozdzieleniem, a  $w_k$  – nr węzła związanego z atmosferą, oblicza się liczbę węzłów grafu po rozdzieleniu  $I = I_p + 1$ , a następnie w liście gałęzi w tablicy węzłów początkowych  $\mathbf{W1}$  w gałęziach, w których węzeł ma numer  $w_k$ , zamienia się go na numer 0.

Jeżeli wyznacza się bocznicę przekątną w rejonie wentylacyjnym, to należy utworzyć listę gałęzi  $\mathbf{W1}$ ,  $\mathbf{W2}$  dla tego rejonu i określić węzeł wlotowy  $w_p = 0$  i wylotowy  $w_k = 1$  rejonu.

Aby wyznaczyć macierz ścieżek należy zrealizować podane w rozdziale 2 warunki dla równania (1). Oznacza to, że dla wiersza macierzy incydencji węzłowo-gałęziowej o numerze węzła początkowego lub końcowego ścieżki należy w pierwszej kolejności wyznaczyć takie wiersze, które mają zera i jedną jedynkę na pozycjach odpowiadających jedynkom w wierszu macierzy incydencji. Elementy na pozostałych pozycjach wiersza mogą przyjmować wartości 0 lub 1, ponieważ w wyniku mnożenia przez odpowiadające im elementy wiersza macierzy incydencji otrzymuje się zawsze 0. Przykładowo, dla węzła początkowego lub końcowego 3-go stopnia (stopień  $i$ -tego węzła jest równy ilości gałęzi incydentnych z tym węzłem, czyli jest równy ilości jedynek w  $i$ -tym wierszu macierzy incydencji) w wierszu macierzy incydencji są 3 jedynki (111). Aby po mnożeniu elementów wiersza macierzy incydencji przez elementy szukanych wierszy otrzymać w wyniku wiersz z jedną jedynką, w wierszach tych muszą znaleźć się następujące kombinacje zer i jedynek: 001, 010, 100, co jest zapisem bitowym liczb 1, 2 i 4. Dla pozostałych wierszy macierzy incydencji należy wyznaczyć takie wiersze macierzy ścieżek, które mają same zera lub zera i dwie jedynki na pozycjach odpowiadających jedynkom w wierszu macierzy incydencji. Podobnie jak poprzednio, elementy na pozostałych pozycjach wiersza mogą przyjmować wartości 0 lub 1. Przykładowo, aby dla węzła 3-go stopnia z trzema jedynkami w wierszu macierzy incydencji, po pomnożeniu elementów wiersza macierzy incydencji przez elementy szukanych wierszy macierzy ścieżek, otrzymać w wyniku wiersz z samymi zerami lub dwiema jedynkami, w szukanych wierszach muszą znaleźć się następujące kombinacje zer i jedynek: 000, 011, 101, 110, co jest zapisem bitowym liczb 0, 3, 5 i 6. Tak utworzone wiersze zapisuje się w początkowych tablicach ścieżek, których ilość jest równa ilości wierszy macierzy incydencji, czyli ilości węzłów grafu. Na pozycjach odpowiadających pozycji jedynek w wierszu macierzy incydencji zapisuje się wartości 0 lub 1, zgodnie z podanymi wyżej zasadami, a na pozostałych pozycjach wierszy zapisuje się wartości oznaczające dowolną z dwóch wartości, 0 lub 1 (tu przyjęto wartość  $-1$ ), gdyż zachodzi tu mnożenie zerowych elementów wierszy macierzy incydencji przez elementy wierszy macierzy ścieżek. Tak utworzone ścieżki dla kolejnych węzłów zapisuje się w tablicy  $\mathbf{PS}$ . W związku z tym w pierwszej kolejności trzeba zapamiętać pozycje jedynek w wierszach macierzy incydencji. W tym

celu z listy **W1**, **W2** oblicza się największy stopień wężła  $sw_m$ . Następnie tworzy się  $sw_m$ -elementową tablicę **PB**, w której będą zapisane pozycje jedynek w wierszu macierzy incydencji, równe pozycjom zer i jedynek w wierszach macierzy ścieżek **PS**. Ilość wierszy tablicy ścieżek **PS** jest równa stopniowi wężła:

$$wps_i = sw_i \quad (2)$$

gdy  $i$ -ty węzeł jest węzłem początkowym lub końcowym ścieżki. W przeciwnym wypadku ilość wierszy  $wps_i$  tablicy ścieżek dana jest wzorem:

$$wps_i = (sw_i - 1) \times sw_i / 2 + 1 \quad (3)$$

Teraz, dla kolejnych węzłów, można obliczyć stopień wężła  $sw$ , obliczyć pozycje jedynek w wierszu macierzy incydencji i zapisać w tablicy **PB**, utworzyć tablicę **PS** i wpisać do niej wartości początkowe  $-1$ , oznaczające dowolną z dwóch wartości: 0 albo 1. Ilość elementów wiersza tablicy **PS** jest równa ilości gałęzi grafu  $J$ .

Elementom tablicy ścieżek **PS** przypisuje się wartości 1 lub 0 zgodnie z wyżej podanymi zasadami. Uwzględniając tylko elementy o wartości równej 1 w wierszach macierzy incydencji otrzymuje się dla wężła początkowego i końcowego ścieżek kombinacje zer i jedynek w bitowej postaci następujących liczb:  $n = 2^k$ , gdzie  $k = 0 \dots wps - 1$ , a  $wps$  jest liczbą wierszy tablicy ścieżek **PS**, gdy  $i$  jest numerem wężła początkowego lub końcowego ścieżki. Liczby te w zapisie bitowym mają tylko zera i jedną jedynkę. Dla pozostałych węzłów należy zdefiniować tablicę **TP** zawierającą następujące liczby: 0, 3, 5, 6, 9, 10, 12, 17, 18, 20, 24. Liczby te w zapisie bitowym mają same zera lub zera i dwie jedynki. Wówczas  $n = tp_k$ ; gdzie  $k = 0 \dots wps - 1$ .

W wyniku otrzymuje się początkową tablicę ścieżek **PS** z dużą ilością elementów o wartości  $-1$  (dowolna wartość: 0 lub 1). Pomnożenie elementów  $i$ -tego wiersza tablicy incydencji przez elementy kolejnych wierszy  $i$ -tej początkowej tablicy ścieżek daje w wyniku wiersze zawierające jedną jedynkę i pozostałe zera, gdy  $i$  jest numerem jednego z dwóch końcowych węzłów ścieżki, lub daje w wyniku wiersz zawierający same zera albo dwie jedynki i pozostałe zera, gdy  $i$  jest numerem wężła innego niż końcowy węzeł ścieżki. W kolejnym kroku tworzy się tablicę ścieżek **TS** i przepisuje się do niej początkową tablicę ścieżek **PS** dla wężła nr 0.

Tworzy się pomocniczą tablicę ścieżek **TSP**, w której będą zapisywane kolejne utworzone ścieżki. Teraz należy wykonać porównanie elementów wierszy tablicy ścieżek **TS**, w której zapisane są wartości początkowej tablicy ścieżek **PS** dla pierwszego wężła (nr 0) z elementami wierszy początkowej tablicy ścieżek **PS** dla następnego wężła (nr 1) i w przypadku, gdy wartości 0 i 1 elementów w porównywanych wierszach są takie same na tych samych pozycjach w wierszu, to należy do wiersza tablicy **TSP** przepisać wiersz tablicy **TS** i zastąpić wartości  $-1$  elementów tablicy **TSP** wartościami 0 i 1 z wiersza tablicy **PS**. Teraz należy sprawdzić, czy tak utworzony wiersz tablicy ścieżek **TSP** nie zawiera gałęzi tworzących obwód. Przyjmuje się, że wiersz ten jest listą gałęzi grafu niespójnego, który może składać się z pojedynczych gałęzi, ścieżek i obwodów. Pojedyncze gałęzie i krańcowe gałęzie ścieżek mają węzły stopnia 1. Usuając te gałęzie doprowadza się do grafu zerowego lub do grafu zawierającego wyłącznie obwody. W tym celu tworzy się dwie dodatkowe tablice: pomocniczą tablicę stopni węzłów **PSW** i pomocniczą tablicę wiersza ścieżki **PWS**. W tablicy **PWS** zapisana jest zawartość wiersza tablicy **TSP** a w tablicy **PSW** zapisane są stopnie węzłów gałęzi ścieżki zapisanej w tablicy **PWS**. Następnie wykonuje się sprawdzenie stopni węzłów w tablicy **PSW** i z tablicy **PWS** usuwa się gałęzie z węzłami stopnia 1, a w tablicy **PSW** zmniejsza się o 1 stopnie węzłów tych gałęzi. Po usunięciu wszystkich gałęzi z węzłami stopnia 1 sprawdza się, czy w tablicy stopni węzłów **PSW** są węzły stopnia 2, co oznacza obwód. Wówczas ostatniego wiersza tablicy **TSP** nie zapamiętuje się w tej tablicy. Po zakończeniu porównania wszystkich wierszy tablicy **TS** z wszystkimi wierszami tablicy **PS** dla wężła nr 1 zawartość tablicy **TSP** należy przekopiować do tablicy **TS** i rozpocząć porównanie z wierszami tablicy **PS** dla następnego wężła (nr 2). Opisane czynności należy powtarzać kolejno dla wszystkich węzłów. Następnie tworzy się tablice **WS1** i **WS2**. W tablicy **WS1** zapisuje się numery węzłów początkowych i w tablicy **WS2** – numery węzłów końcowych gałęzi tworzących  $i$ -tą ścieżkę. W tym celu przepisuje się zawartość tablicy **W1** do **WS1** i **W2** do **WS2**, a następnie, gdy element  $i$ -tego wiersza i  $j$ -tej kolumny tablicy **TS** ( $i$  – nr ścieżki,  $j$  – nr gałęzi),  $ts_{i,j} = 0$  to elementom tablic **WS1** i **WS2** nadaje się wartości:  $ws1_j = -1$  i  $ws2_j = -1$ .

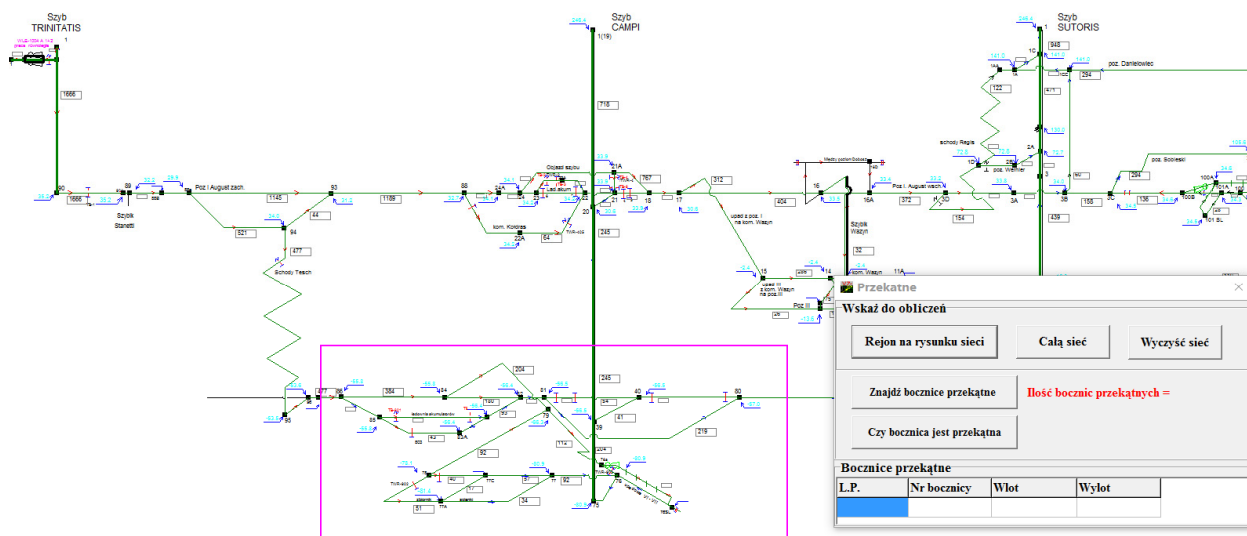
Teraz można przejść ścieżkę zaczynając od wężła początkowego ścieżki  $wp$  i uwzględniając, że węzeł ten może być węzłem początkowym lub końcowym gałęzi. Następnie przechodzi się do drugiego wężła gałęzi i poszukuje się kolejnej gałęzi z tym numerem wężła. Jeżeli przechodzi się od wężła końcowego do

początkowego gałęzi, to w odpowiednim wierszu tablicy ścieżek **TS** należy zmienić znak jedynki w elemencie  $ts_{i,j} = -1$ , gdzie indeks  $i$  to numer ścieżki, a  $j$  – numer gałęzi. Czynności te powtarza się do osiągnięcia węzła końcowego ścieżki  $wk$ . W wyniku otrzymuje się tablicę ścieżek o wymiarach  $I \times J$ , gdzie  $I$  jest ilością ścieżek od węzła początkowego o numerze  $wp$  do węzła końcowego  $wk$ . Wartość 0 elementu  $ts_{i,j}$  tablicy **TS** oznacza, że  $j$ -ta gałąź nie należy do  $i$ -tej ścieżki. Wartość 1 elementu  $ts_{i,j}$  oznacza, że  $j$ -ta gałąź należy do  $i$ -tej ścieżki i kierunek od węzła początkowego do końcowego tej gałęzi jest zgodny z kierunkiem od węzła początkowego do końcowego  $i$ -tej ścieżki. Wartość  $-1$  elementu  $ts_{i,j}$  oznacza, że  $j$ -ta gałąź należy do  $i$ -tej ścieżki i kierunek od jej węzła początkowego do końcowego jest przeciwny do kierunku  $i$ -tej ścieżki. Następnie należy sprawdzić, czy w kolumnach tablicy **TS** występują jedynki o przeciwnych znakach, co oznacza, że gałąź o numerze tej kolumny można przejść od jej węzła początkowego do końcowego lub przeciwnie, a to, zgodnie z definicją podaną w wstępie do artykułu, oznacza gałąź przekątną.

#### 4. Program komputerowy

Program komputerowy realizujący wyżej podany algorytm korzysta z listy bocznic kopalnianej sieci wentylacyjnej zapisanej w bazie danych Programu Inżyniera Wentylacji *VentGraph-Plus* opracowanego w IMG PAN (Dziurzyński i in., 2015). Celem działania programu jest ocena możliwości wykonania rewersji lokalnej w przypadku zaistnienia pożaru, który ze względów na wyprowadzenie załogi z strefy zagrożonej wymaga zmiany kierunku przepływu powietrza w wyrobisku ścianowym. Do prezentacji wyników wyznaczania bocznic przekątnych zastosowany jest również interfejs graficzny programu *VentGraph-Plus*.

W celu wyznaczenia bocznic przekątnych w wybranym rejonie należy wejść po odczycie danych do modułu SYMULACJA, a następnie użyć opcji w menu „Wskaźniki>Przekątne”. Pojawi się Okno „Przekątne” (Rys. 1), w którym umieszczone jest pięć klawiszy. W zależności od potrzeb użytkownika klawisze mają różne znaczenie. Opis ich działania podano poniżej.



Rys. 1. Zaznaczenie rejonu do wyznaczenia w nim przekątnych

Żeby zaznaczyć rejon należy lewym przyciskiem myszy wcisnąć górny klawisz „Rejon na rysunku sieci” po czym lewym klawiszem myszy pociągnąć różowy prostokąt. Bocznicę, których przynajmniej jeden węzeł leży w rejonie są zaliczane do rejonu, te które „wychodzą” poza rejon tworzą wloty i wyloty z rejonu. Kliknięciem lewym przyciskiem myszy w środek prostokąta zatwierdzamy rejon (bocznicę przerysowane są kolorem jasno zielonym).

Klawisz „Znajdź bocznicę przekątną” powoduje uruchomienie procedury poszukiwania bocznic przekątnych w zaznaczonym rejonie i wypisanie ich w tabeli (Tab. 1) oraz zaznaczenie wybranych bocznic grubą przerywaną koloru czerwonego, na rysunku 2. Wynik wyznaczenia bocznic przekątnych pokazany jest również w tabeli 1 w formie: nr bocznicy, węzeł wlotowy i węzeł wylotowy.

Tab. 1

**Przekatne**

Wskaź do obliczeń

Rejon na rysunku sieci    Całą sieć    Wyczyść sieć

Znajdź bocznicę przekątną    Ilość bocznic przekątnych = 5

Czy bocznicę jest przekątną

**Bocznicę przekątną**

L.P.	Nr bocznicę	Wlot	Wylot
1	69	40	39
2	94	81	40
3	67	40	80
4	92	77A	77C
5	103	84	82

**Przekatne**

Wskaź do obliczeń

Rejon na rysunku sieci    Całą sieć    Wyczyść sieć

Znajdź bocznicę przekątną    Ilość bocznic przekątnych = 9

Czy bocznicę jest przekątną

**Bocznicę przekątną**

L.P.	Nr bocznicę	Wlot	Wylot
1	38	11A	11
2	39	13	11A
3	40	16	13
4	41	14	13
5	42	15	14
6	48	14	12
7	47	13	12A
8	45	12A	12
9	46	15	12A

Rys. 2. Widok ekranu po znalezieniu bocznic przekątnych w wybranym rejonie bocznicę oznaczone kolorem czerwonym są przekątną

Klawisz „Wyczyść sieć” wymazuje rejon z rysunku i tabeli, można zacząć pracę w innym rejonie bez potrzeby wychodzenia z panelu.

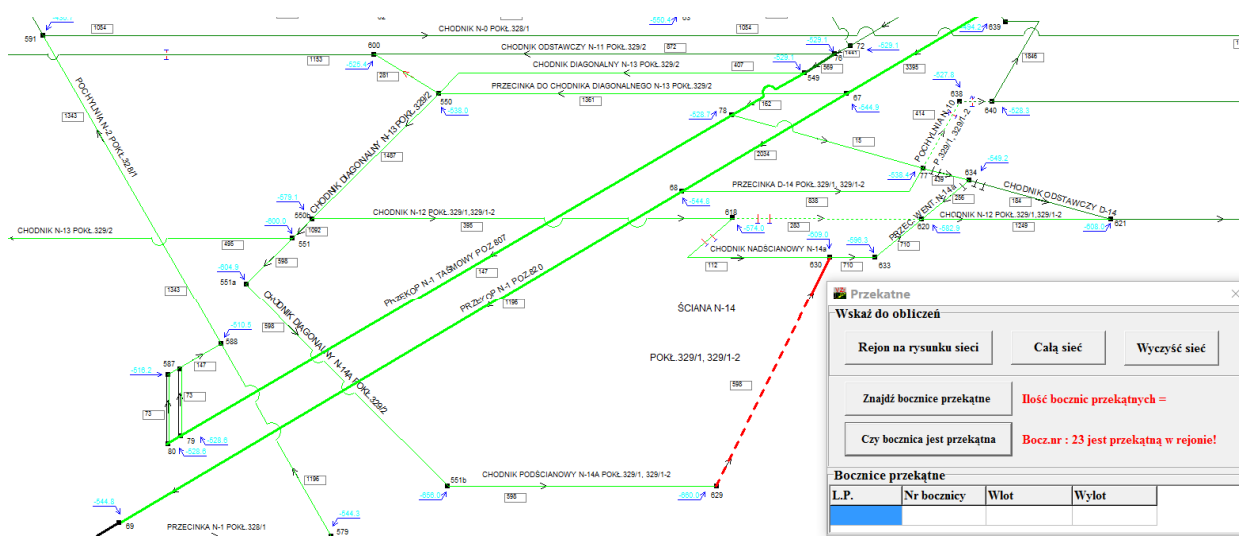
Klawisz „Cała sieć” uruchamia procedurę poszukiwania bocznic przekątnych dla wszystkich bocznic rozważanej sieci wyrobisk. Proces poszukiwania bocznic przekątnych jest pracochłonny, a czas wydłuża się wraz z liczbą bocznic tworzących strukturę.

Klawisz „Czy bocznicę jest przekątną” stosuje się w celu szybkiego sprawdzenia wyrobiska czy wskazana kursorem bocznicę jest przekątną. Czynność tą realizujemy po zaznaczeniu rejonu za pomocą klawisza „Rejon na rysunku sieci”, następnie spośród zaznaczonego rejonu wskazujemy kursorem na rysunku sprawdzaną bocznicę (patrz przykład 2).

## 5. Przykład obliczeniowy

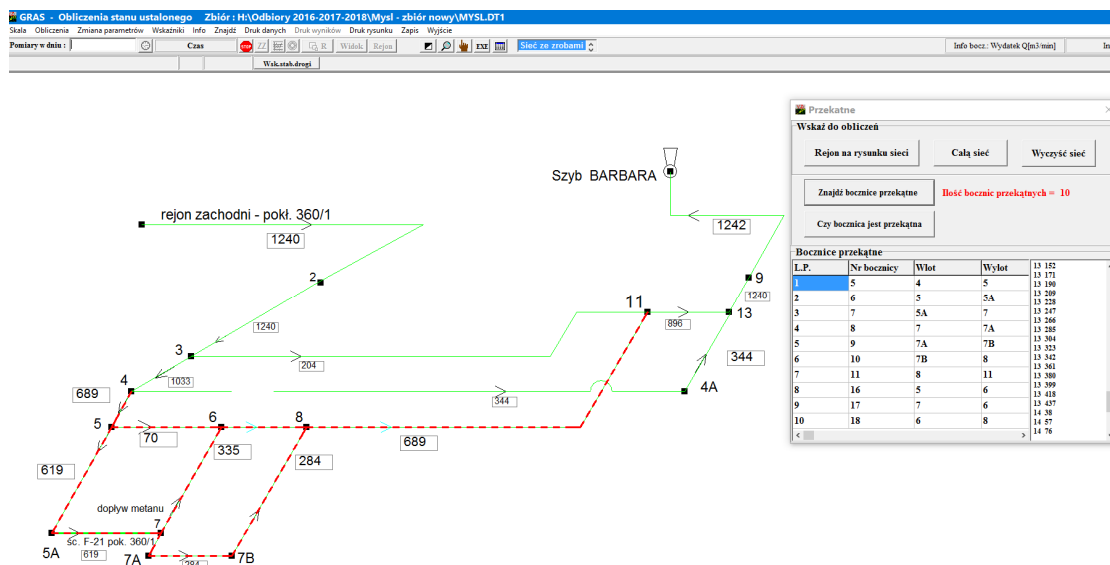
Celem sprawdzenia poprawności przyjętej metody wyznaczania bocznic przekątnych oraz poprawności funkcjonowania algorytmu programu *VentGraph-Plus* wykonano szereg przykładów sprawdzających i testujących program komputerowy.

**Przykład 1.** Dla wyznaczania bocznic przekątnych z zastosowaniem wyżej opisanych opcji programu wybrano sieć wentylacyjną kopalni „K”. Po odczycie danych i wejściu do opcji „Symulacja” i dalej „Wskaźniki>Przekątne” zaznaczono rejon ściany N-14 pokład 329/1, rysunek 3. Po zaznaczeniu rejonu za pomocą opcji „Rejon na rysunku sieci” użyto opcji „Czy bocznicą jest przekątną” i wskazano bocznicę między węzłami 629 (wlot) a 630 (wylot) celem sprawdzenia czy jest to bocznicą przekątną. Po krótkich obliczeniach program daje komunikat, że wskazana bocznicą jest przekątną w wskazanym rejonie, co pokazano w oknie programu na rysunku 3.



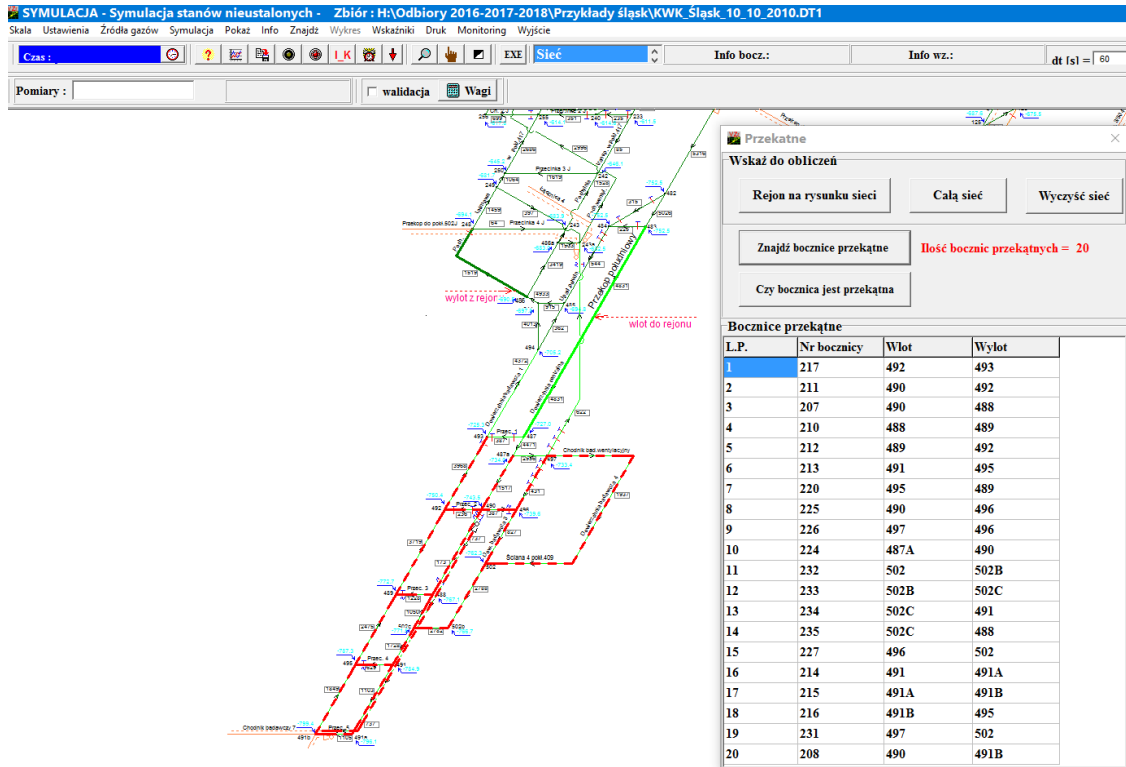
Rys. 3. Widok ekranu po wyznaczeniu bocznicy przekątnej w wybranym rejonie oznaczonej kolorem czerwonym

**Przykład 2** dotyczy sieci wentylacyjnej przedstawionej na rysunku 4. Dla tej sieci zastosowano opcję „Cała sieć”. Program komputerowy zrealizował procedurę wyznaczania bocznic przekątnych, a znalezione bocznicę są pokazane w oknie programu oraz zaznaczone linią grubą przerywaną koloru czerwonego, co można zaobserwować na rysunku 4.



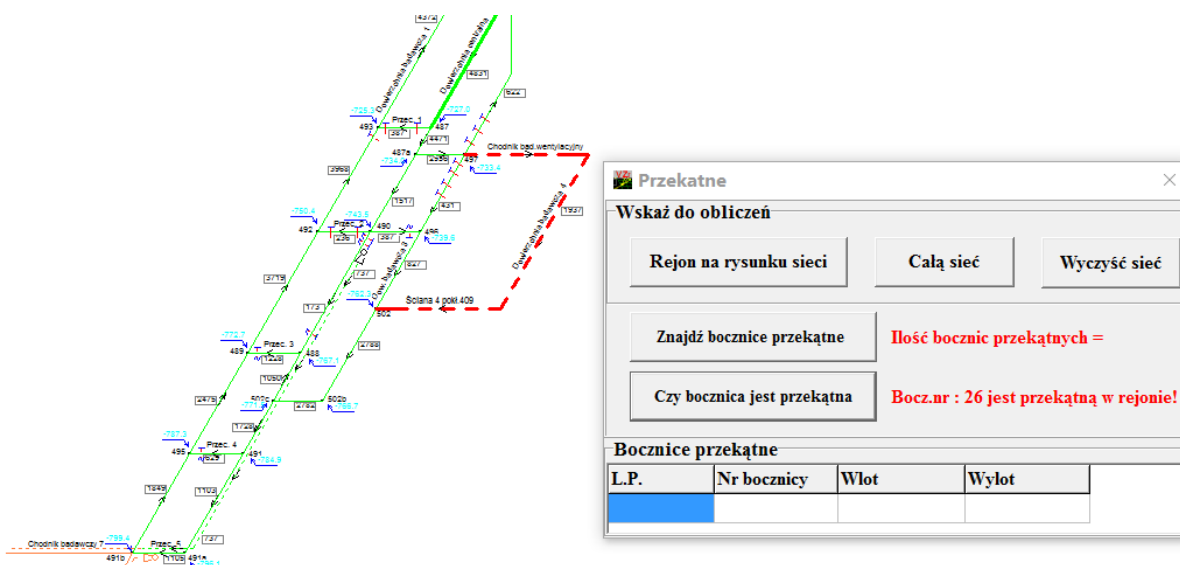
Rys. 4. Widok ekranu po wyznaczeniu bocznicy przekątnej w całej sieci oznaczonej linią grubą przerywaną koloru czerwonego

**Przykład 3** dotyczy sieci wentylacyjnej kopalni „S”, jest to południowy rejon sieci wentylacyjnej kopalni przedstawionej na rysunku 5. W wyniku obliczeń po użyciu opcji „Znajdź bocznicę przekątną” program zrealizował procedury wyznaczenia bocznic przekątnych, a znalezione bocznicę są pokazane zarówno w oknie programu w postaci listy bocznic oraz zaznaczone linią grubą przerywaną koloru czerwonego, co można zaobserwować na rysunku 5.



Rys. 5. Widok ekranu po wyznaczeniu bocznic przekątnych w rejonie kopalni „S” oznaczonych linią grubą przerywaną koloru czerwonego

**Przykład 4** dotyczy tego samego rejonu sieci wentylacyjnej przedstawionego na rysunku 5, jednak dla przykładu 4 użyto opcji „Czy bocznicę jest przekątną” i wskazano bocznicę między węzłami 497 (wlot)

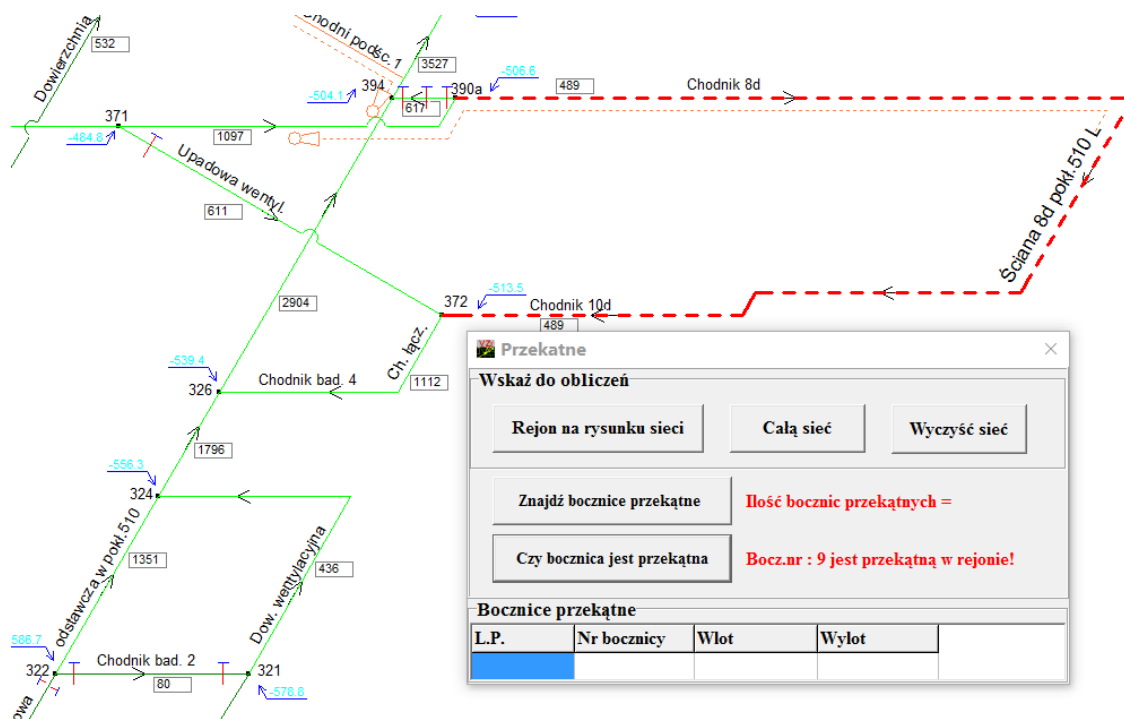


Rys. 6. Widok ekranu po wyznaczeniu bocznicy przekątnej w rejonie kopalni „S” oznaczonej linią grubą przerywaną koloru czerwonego, szybka opcja wyboru



a 502 (wylot). Działanie to miało na celu sprawdzenie czy jest to bocznicą przekątną oraz czy potwierdzi się wybór wskazanej bocznicę za pomocą opcji z wyborem pokazanym dla przykładu 3. W wyniku działania programu otrzymano identyczne wyniki jak dla przykładu 3, co potwierdza prawidłowość działania metody, algorytmu i procedur programu.

**Przykład 5** dotyczy rejonu sieci wentylacyjnej przedstawionej na rysunku 7, jest to fragment sieci kopalni „S” dla której zaznaczono rejon wschodni sieci wentylacyjnej kopalni, gdzie odbywa się eksploatacja ścianą 8d, pokład 510L. W tym przykładzie użyto sprawdzonej już opcji „Czy bocznicą jest przekątną” i wskazano bocznicę między węzłami 497 (wlot) a 502 (wylot). W wyniku działania programu komputerowego uzyskano informację, że bocznicą jest przekątną, a jest to informacja, że można dokonać rewersji wentylacji dla wyrobiska ścianowego.



Rys. 7. Widok ekranu po wyznaczeniu bocznicę przekątnę w rejonie kopalni „P” oznaczonej linią grubą przerywaną koloru czerwonego, szybka opcja wyboru

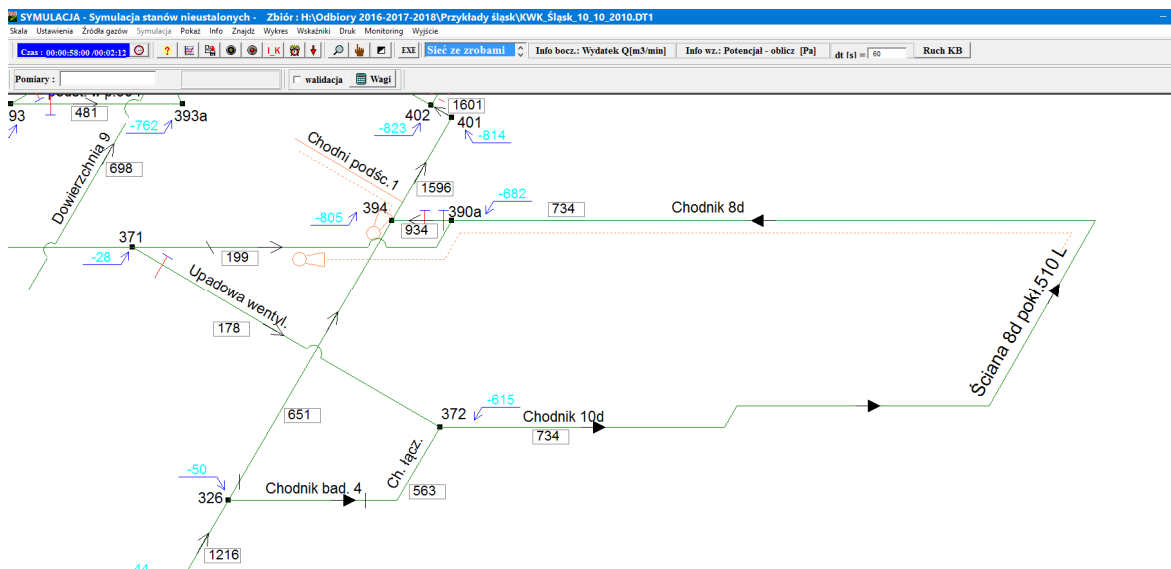
Przeprowadzono symulację otwierania i zamykania tam wentylacyjnych znajdujących się w wybranych rejonie uzyskując odwrócenie prądu powietrza przewietrzającego ścianę. Sytuację tę pokazano na rysunku 8. Dla realizacji tego manewru otwarto tamy w:

- bocznicę wlot 371 – wylot 371a
- bocznicę wlot 390a – wylot 394

oraz zamknięto tamy w:

- bocznicę wlot 371 – wylot 390a
- bocznicę wlot 372 – wylot 326
- bocznicę wlot 326 – wylot 394

W wyniku tych operacji zamykania i otwierania tam uzyskano odwrócenie kierunku przepływu powietrza przez ścianę 8d. Na rysunku 8 program komputerowy za pomocą grubej czarnej strzałki pokazuje odwrócony kierunek przepływu powietrza.



Rys. 8. Widok ekranu z rejonem ściany 8d pokład 510L po wykonaniu rewersji lokalnej

## 6. Wnioski

Otrzymane wyniki wyznaczania bocznic przekątnych w sieci wentylacyjnej kopalni przy zastosowaniu programu *VentGrapl-Plus* pozwalają stwierdzić, że program ten może być alternatywą dla programów opartych na metodzie poszukiwania w głąb na grafie (DFS).

Testowanie programu komputerowego wykazało poprawność zastosowanej metody wyboru bocznic przekątnych. Można stwierdzić że:

- Zastosowanie opisanej metody wyznaczania bocznic przekątnych jest efektywne, ale dla opcji „Znajdź bocznicę przekątną” oraz opcji „Czy bocznicą jest przekątna”, program dla wybranego rejonu szybko realizuje cele algorytmu. W przypadku wybrania opcji „Cała sieć” przedstawiona metoda działa również poprawnie (przykład 2), obserwuje się znaczne wydłużenie czasu obliczeń komputera.
- Przeprowadzenie rewersji lokalnej w przypadku pożaru w rejonowym prądzie powietrza, wymaga opracowania każdorazowo, dla każdego przypadku rejonu i miejsca pożaru, zasad taktyki prowadzenia akcji przeciwpożarowej, w tym rewersji lokalnej. Dlatego zaleca się aby każdy dział wentylacji kopalni przygotował plan takich działań w oparciu o symulację komputerową na modelu numerycznym kopalni. Pozwoli to na wcześniejsze wyznaczenie miejsc lokalizacji tam wentylacyjnych potrzebnych do przeprowadzenia rewersji rejonu wentylacji.

Praca została wykonana w roku 2016 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

## Literatura

- Bystroń H., 1957. *Wpływ elementów sieci i pożaru na kierunki prądów powietrznych w kopalni*. Przegląd Górniczy, nr 7-8, s. 318-336.
- Bystroń H., 1958. *Sposób kreślenia kanonicznych schematów przewietrzania*. Przegląd górniczy, nr 3, s. 86-100.
- Budryk W., 1961. *Wentylacja kopalń cz. I. Przewietrzanie wyrobisk*. EGH, Katowice.
- Czczot H., 1925. *Teoria prądów przekątnych*. Prace AG w Krakowie.
- Czczot H., 1957. *Metoda badań i wyniki prac nad teorią wentylacji*. Wybór pism H. Czczotta, opracowanie J. Litwiniszyn. PWN, Warszawa.
- Dziurzyński W., Tracz J., 1987: *Rewersja wentylacji głównej w przypadku pożaru w grupowym prądzie świeżego powietrza*. [W:] XXI Dni Techniki ROW'95. 18-19.10. s.165-175, Wodzisław Śląski.
- Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., 2013. *Sposób realizacji rewersji wentylacji rejonów eksploatacyjnych przewietrzanych prądami wznoszącymi i schodzącymi w warunkach zagrożenia pożarowo-metanowego*. Materiały 7 Szkoły Aerologii Górniczej, Krynica-Zdrój, 9-11 październik 2013, s. 37-52.

- Dziurzyński W., Krause E., 2012. *Influence of the field of aerodynamic potentials and surroundings of goaf on methane hazard in Longwall N-12 in Seam 329/1, 329/1-2*. Archives of Mining Sciences, Vol. 57, No 4, p. 819-830.
- Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., Wasilewski St., 2015. *Rozwój systemów symulacji procesu przewietrzania w rejonie ściany z uwzględnieniem czujników systemu gazometrii*. Prace IMG PAN, Tom 17, nr 1-2, s. 3-19.
- Kolarczyk M., 1994. *Bocznicie normalne i przekątne w kopalnianej sieci wentylacyjnej, metoda wyznaczenia*. XX Dni Techniki ROW'94, s. 19-29.
- Kolarczyk M., 1998. *Bocznicie normalne i przekątne w zredukowanych płaskich kopalnianych sieciach wentylacyjnych*. Szkoła Eksploatacji Podziemnej 98, Materiały SEP, s. 208-218.
- Krach A., 2014. *Determining diagonal branches in mine ventilation networks*. Archives of Mining Sciences, Vol. 59, No. 4, p. 1097-1105.
- Narsingh Deo, 1974. *Graph theory with applications to engineering and computer science*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs.
- Strumiński A. 1987. *Zwalczanie pożarów podziemnych w kopalniach*, Wydawnictwa PAN, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław.
- Szlązak N. Zając K., 1998. *Ocena możliwości wykonywania rewersji wentylacji głównej w kopalniach węgla kamiennego*. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, nr 8, IGSMiE PAN, Kraków.
- Szlązak N., Jian L., Borowski M., Obracaj D., 1998. *Numerical determination of diagonal branches in mining ventilation networks*. Arch. Min. Sci., Vol. 43, No 4, p. 549-560.
- Tarian R., 1972. *Depth-First Search and Linear Graph Algorithms*. SIAM J. Comput. 1972 June, Vol. 1, No 2, p. 146-160.

## Diagonal airways detection as a part of the development of a software tool for multi-variant underground mine ventilation modeling

### Abstract

The paper presents the stage of progress in the development of the multi-functional mine ventilation modeling software VentGraph-Plus. Operation of the software is closely linked with the dedicated in-situ measurements and indications of the monitoring system. Detection of diagonal airways in complex underground mine ventilation networks will be one of new functions enhancing usability of the software. Importance of knowledge, which airways are diagonal became more evident after the simulations of ventilation reversals. Core objective of such simulations is to point the places for ventilation door necessary to perform the reversal of flow in a longwall region with ascending or descending currents. So far there is no tool providing assistance in designing the sequence of operations for such maneuver, especially in case of an underground fire. Ongoing work has practical significance in terms of methane and fire hazard frequently occurring in Polish underground coal mines. For this purpose, additional modules the computer program VentGraph-Plus, which will allow the user designate the diagonal airways for planned ventilation reversal in an easy way have been developed. The paper presents a brief review of the state of the art, describes the idea of the method of diagonal airways detection and the algorithm applied. Then follow examples using complex networks of some Polish collieries. Final conclusions relate to the method itself and its applicability.

**Keywords:** diagonal airways, ventilation reversal, fire hazard, Ventgraph-Plus software